

# Deckblatt



BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Blatt: 1
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Stand: 15.03.2022

Titel der Unterlage:

ENTWICKLUNG EINES KONZEPTE ZUR CHARAKTERISIERUNG DER AUS DER SCHACHTANLAGE ASSE II RÜCKZUHOLENDEN RADIOAKTIVEN ABFÄLLE - ENDBERICHT

Ersteller/Unterschrift:

[Redacted]

Prüfer/Unterschrift:

[Redacted]

Stempelfeld:

UVST: 22. JUNI 2022 [Redacted] Datum und Unterschrift	bergrechtlich verantwortliche Person: 07. JULI 2022 [Redacted]	atomrechtlich verantwortliche Person: 07. JULI 2022 [Redacted]	Bereichsleitung: 07. JULI 2022 [Redacted]	Freigabe zur Anwendung: 07. JULI 2022 [Redacted]
--	---	---	---	--

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der BGE.





Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE	BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 3	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -										

## Freiblatt

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 4
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									



**Brenk  
Systemplanung**



**NUKEM  
Technologies**

**Auftraggeber (AG):** BGE mbH (Schachtanlage Asse II)  
Am Walde 2  
38319 Remlingen

**Auftragnehmer (AN):** ARGE Brenk-NUKEM:

**Brenk Systemplanung GmbH (BS)**  
Heider-Hof-Weg 23  
52080 Aachen

**NUKEM Technologies Engineering Services GmbH (NTES)**  
Industriestr. 13  
63755 Alzenau

**Bestell-Nr. (AG):** 45186837 vom 28.05.2020

Die Freigabe (AN) bezieht sich auf die im Inhaltsverzeichnis angegebenen Dokumente.

Aachen/Alzenau, den 15.03.2022

KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16




*Geschäftsführung (BS)*



*Projektleitung (BS)*



*stellv. Projektleitung (NTES)*

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 5
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									

# Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle

Endbericht

**Auftragnehmer**  
**Brenk Systemplanung GmbH**  
**NUKEM Technologies Engineering Services GmbH**



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 6

## Kurzfassung

Verfasser: ARGE Brenk-NUKEM

**Titel:** Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle

**Stand:** 15.03.2022

Die vorliegende Konzeptplanung zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle stellt eine Auswahl der geeigneten Mess- und Hantiertechniken, die Auslegung der hierfür notwendigen Raumbereiche sowie der einzelnen Prozessschritte der Charakterisierung dar. Diese leiten sich von den derzeit bekannten Abfalleigenschaften, den Zulassungsvoraussetzungen und Entsorgungszielen sowie den technischen Randbedingungen der zur Charakterisierung benötigten Messtechnik ab.

Die Charakterisierung muss sicherstellen, dass alle relevanten Messgrößen bestimmt werden können, welche für die Wahl geeigneter Entsorgungsziele notwendig sind. Die zu konzeptionierenden Verfahren werden im Rahmen der Konzeptplanung daher dahingehend ausgewählt, dass sie zum Nachweis der Erfüllung der betreffenden technischen und rechtlichen Bedingungen geeignet sind.

Auf Basis der zugrunde gelegten genehmigungsrechtlichen und technischen Randbedingungen werden die wichtigsten zu berücksichtigenden technischen Komponenten und Planungsgrundlagen dargestellt. Diese dienen zum einen der Zusammenstellung der erforderlichen Messtechnik. Zum anderen erfolgt für eine konzeptionelle Anordnung der Messtechnik und der benötigten Raumbereiche eine Abschätzung der möglichen Durchsatzleistung der Charakterisierungsanlage unter Zugrundelegung der bislang prognostizierten mittleren Anlieferung von 5,3 Umverpackungen pro Tag. Diese Abschätzung kann im Rahmen der Konzeptplanung nur auf Annahmen beruhen, da wesentliche Randbedingungen (z. B. das Behälterkonzept sowie die bauliche Auslegung der Konditionierungs- und Lagerbereiche als Teil der Abfallbehandlungsanlage) zum Zeitpunkt der Konzepterstellung nicht feststanden.

Die Durchsatzabschätzung liefert jedoch Hinweise darauf, welche Faktoren den Durchsatz der Charakterisierungsanlage begrenzen und welche Möglichkeiten der Optimierung zu einer Durchsatzsteigerung beitragen können.

Im Rahmen der weiteren Planung und Auslegung der Abfallbehandlungsanlage können die Annahmen an den erforderlichen Durchsatz der gesamten Abfallbehandlungsanlage, den Planungsfortschritten der Rückholung und Bergetechnik und an die zur Verfügung stehende Fläche angepasst werden. Die in der Konzeptplanung getroffenen Annahmen können durch die nachfolgende Entwurfs- und Genehmigungsplanung der Abfallbehandlungsanlage aufgegriffen und weiterentwickelt werden.

*Anmerkung der BGE: In dem Bericht ist von einem durchschnittlichen Durchsatz von 5,3 Umverpackungen pro Tag die Rede. Eine Umverpackung enthält je nach Gebindetyp bis zu 6 Abfallgebinde aus 200 l Fässern. Das entspricht einem durchschnittlichen Durchsatz von bis zu 31 Abfallgebinden pro Tag.*




Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 7



## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>7</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>12</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>13</b>
<b>Anhangverzeichnis</b> .....	<b>15</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>16</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>18</b>
<b>2 Kenntnisse zu den Eigenschaften der rückzuholenden Abfälle</b> .....	<b>19</b>
2.1 Radiologische Eigenschaften .....	19
2.1.1 Nuklidinventar und Aktivitäten .....	20
2.1.1.1 Schwachradioaktive Abfälle (LAW) .....	21
2.1.1.2 Mittelradioaktive Abfälle (MAW) .....	23
2.1.2 Dosisleistungen .....	24
2.1.2.1 Schwachradioaktive Abfälle (LAW) .....	24
2.1.2.2 Mittelradioaktive Abfälle (MAW) .....	26
2.1.3 Spaltbare Stoffe .....	27
2.2 Stoffliche und mechanische Eigenschaften .....	30
2.2.1 Behältermaterial .....	31
2.2.2 Fixierungs- und Konditionierungsmaterial .....	38
2.2.3 Abfallmaterial .....	40
2.2.3.1 Zuordnung zu Abfallklassen .....	40
2.2.3.1.1 Metallische Abfälle .....	41
2.2.3.1.2 Mineralische Abfälle .....	41
2.2.3.1.3 Kunststoffe .....	42
2.2.3.1.4 Zellulosehaltige Abfälle .....	43
2.2.3.1.5 Tierkadaver .....	43
2.2.3.1.6 Salzgrus .....	44
2.2.3.1.7 Verfestigte Flüssigabfälle .....	44
2.2.3.1.8 Kontaminierte Salzlösung/Salzlauge .....	45
2.2.3.1.9 Mischabfälle .....	45
2.2.3.2 Konsistenz der Abfälle .....	46
2.2.3.3 Gefährdungspotenzial der Abfälle .....	46
<b>3 Genehmigungsrechtliche Randbedingungen und Planungsgrundlagen</b> .....	<b>46</b>
3.1 Verfahrensablauf des Genehmigungsprozesses .....	47
3.2 Erforderliche Umgangsgenehmigungen .....	49
3.2.1 Umgangsgenehmigung für die rückzuholenden radioaktiven Abfälle .....	49
3.2.2 Weitere Umgangsgenehmigungen .....	50
3.3 Erstellung von Nachweisunterlagen und Konzepten .....	51
3.3.1 Einhaltung von Schutzziele und sicherheitstechnischen Anforderungen .....	51
3.3.2 Aspekte zur abdeckenden Aktivitätsabschätzung .....	54
3.3.3 Anforderungen an das Strahlenschutzkonzept .....	56
3.3.3.1 Aufbau und Umfang des Strahlenschutzkonzeptes .....	56
3.3.3.2 Anforderungen an die Strahlenschutzbereiche .....	57
3.3.3.2.1 Überwachungsbereiche .....	57
3.3.3.2.2 Kontrollbereiche .....	57
3.3.3.2.3 Sperrbereich .....	58
3.3.3.3 Anforderungen an die organisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen .....	58
3.3.3.3.1 Strahlenschutzverantwortlicher .....	58
3.3.3.3.2 Strahlenschutzbeauftragte .....	59

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	



**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 8
--	----------

3.3.3.3.3 Strahlenschutzanweisung .....	59
3.3.3.3.4 Unterweisungen.....	59
3.3.3.4 Anforderungen an die Personenüberwachung und den Personenschutz .....	59
3.3.3.4.1 Messung und Überwachung der Personendosis.....	60
3.3.3.4.2 Kontamination und Dekontamination .....	60
3.3.3.4.3 Inkorporationsüberwachung.....	60
3.3.3.4.4 Betriebsfremde Personen in Kontrollbereichen .....	61
3.3.3.5 Anforderungen an die Anlagenüberwachung .....	61
3.3.3.5.1 Überwachung der Ortsdosis und Ortsdosisleistung.....	61
3.3.3.5.2 Überwachung der Kontamination des Arbeitsplatzes .....	62
3.3.3.5.3 Überwachung der Raum- und Fortluft.....	62
3.3.3.5.4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser .....	65
3.3.3.6 Anforderungen an die Umgebungsüberwachung .....	65
3.3.4 Kernmaterialüberwachung gem. Euratom-Richtlinie.....	66
3.3.5 Sicherstellung der Unterkritikalität.....	67
3.3.6 Festlegung der Entsorgungsziele .....	67
3.3.6.1 Freigabe .....	68
3.3.6.2 Wiederverwendung bzw. -verwertung.....	69
3.3.6.3 Beseitigung als radioaktiver Abfall .....	69
3.3.7 Dokumentation der Messergebnisse und Nachweise.....	69
3.3.8 Anforderungen an Meldungen gem. AtSMV .....	74
3.3.9 Anforderungen an den Anlagensicherungsbericht.....	75
3.4 Anforderungen der Konditionierung an die Charakterisierung .....	75
3.5 Anforderungen der Puffer- und Zwischenlagerung an die Charakterisierung.....	76
3.6 Anforderungen des Transportes an die Charakterisierung .....	76
3.6.1 Innerbetrieblicher Transport.....	76
3.6.2 Transport zum Endlager .....	77
3.7 Anforderungen der Endlagerung an die Charakterisierung.....	78
<b>4 Technische Randbedingungen und Planungsgrundlagen.....</b>	<b>79</b>
4.1 Planungsgrundlagen bezüglich der radiologischen Eigenschaften .....	79
4.1.1 Ortsdosisleistungen und Strahlenschutz .....	79
4.1.2 Aktivitätsgehalte und spaltbare Stoffe .....	79
4.1.3 Messbarkeit von Nuklidaktivitäten .....	80
4.2 Planungsgrundlagen bezüglich der stofflichen Eigenschaften.....	82
4.3 Planungsgrundlagen bezüglich der Integrität rückgeholter Abfallbehälter.....	82
4.4 Anforderungen an die Erstellung von Probenahmeplänen .....	83
4.4.1 Auswahl geeigneter Probenahmeorte am Material.....	84
4.4.2 Anforderungen an Probendichte und -menge.....	84
4.4.3 Durchführung der Beprobung.....	84
4.4.4 Beprobung der radiologischen Bestandteile.....	85
4.4.5 Beprobung der stofflichen Bestandteile.....	85
4.4.6 Kennzeichnungen und Dokumentation.....	85
4.5 Planungsgrundlagen bezüglich Materialtransport und -eigenschaften.....	86
4.5.1 Schnittstellen von Materialverarbeitung und -lagerung innerhalb der Gesamtanlage .....	86
4.5.2 Behälterkonzept zum Transport der rückgeholten Abfälle .....	86
4.5.3 Kategorisierung und Handhabung der zu behandelnden Materialströme .....	87
4.5.4 Abfallhantierungsform (manuell vs. fernhantiert) .....	88
4.5.5 Planungsgrundlagen zu messtechnischen Randbedingungen des Abfallmaterials .....	89
4.6 Auswirkungen der verfügbaren Datenlage auf die technische Planung .....	89
<b>5 Relevante Messgrößen .....</b>	<b>90</b>
5.1 Strahlenschutzrelevante Anforderungen (Messkategorie A).....	91
5.1.1 Oberflächendosisleistung.....	91
5.1.2 Oberflächenkontamination .....	92
5.2 Mechanische/strukturelle Anforderungen (Messkategorie B).....	92




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 9
---	----------

5.2.1	Drucklosigkeit .....	92
5.2.2	Konsistenz .....	93
5.2.3	Gewicht und innere Struktur.....	93
5.3	Chemische/stoffliche Anforderungen (Messkategorie C).....	93
5.3.1	Explosivstoffe und Faulen/Gären .....	93
5.3.2	Stoffliche Zusammensetzung .....	94
5.3.3	Nichtradioaktive, schädliche Stoffe .....	94
5.4	Radiologische Anforderungen (Messkategorie D) .....	95
5.4.1	Aktivität der Nuklide .....	95
5.4.2	Spaltbare Stoffe und Uran.....	96
<b>6</b>	<b>Auswahl und Auslegung geeigneter Mess- und Hantierungsverfahren .....</b>	<b>97</b>
6.1	Einteilung der Messverfahren.....	101
6.1.1	Zerstörungsfreie Messverfahren ohne direkten Zugang zum Abfallmaterial .....	101
6.1.2	Messverfahren mit direkten Zugang zum Abfallmaterial.....	102
6.2	Strahlenschutzrelevante Messverfahren (Messkategorie A).....	102
6.2.1	Auswahl der Messverfahren.....	103
6.2.2	Marktverfügbarkeit .....	104
6.2.3	Funktionsweise und Einsatz der Messtechnik .....	104
6.2.3.1	Dosisleistungssonden (Geiger-Müller- und Proportionalzählrohre) .....	104
6.2.3.2	Neutronenzählrohre .....	105
6.2.3.3	Oberflächenkontaminationsmessgeräte .....	105
6.2.3.4	Wischtests und deren Auswertegeräte.....	105
6.2.4	Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage .....	106
6.3	Mechanische/strukturelle Mess- und Hantierungsverfahren (Messkategorie B) .....	106
6.3.1	Auswahl der Mess- und Hantierungsverfahren.....	106
6.3.2	Marktverfügbarkeit .....	108
6.3.3	Funktionsweise und Einsatz der Mess-/Hantierungstechnik.....	108
6.3.3.1	Wägung .....	108
6.3.3.2	Digitale Gamma-Radiographie.....	109
6.3.3.3	Transmissions-Computertomographie .....	110
6.3.3.4	Gamma-Neutronen-Radiographie.....	110
6.3.3.5	Manipulierende Verfahren innerhalb von Hantierungszellen und Heißen Zellen .....	111
6.3.3.5.1	Einsetzen von Überdruckventilen mit Sinterfilter .....	112
6.3.3.5.2	Fernhantierte Manipulation und Sichtung.....	113
6.3.4	Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage .....	113
6.4	Chemisch/stoffliche Messverfahren (Messkategorie C).....	113
6.4.1	Auswahl der Messverfahren.....	114
6.4.2	Marktverfügbarkeit .....	116
6.4.3	Funktionsweise und Einsatz der Messtechnik.....	117
6.4.3.1	Neutronen-Aktivierungsanalyse (im Gebindemaßstab) .....	117
6.4.3.2	Probenanalyse.....	119
6.4.3.2.1	Nass-Chemische Verfahren .....	119
6.4.3.2.2	Spektroskopische Verfahren .....	119
6.4.3.2.3	Chromatographische Verfahren .....	120
6.4.3.2.4	Optische Verfahren.....	121
6.4.3.2.5	Elektroanalytische und sonstige Verfahren .....	121
6.4.3.2.6	Analysedauer und Genauigkeit der Probenahme.....	122
6.4.4	Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage .....	122
6.5	Radiologische Messverfahren (Messkategorie D) .....	122
6.5.1	Auswahl der Messverfahren.....	122
6.5.2	Marktverfügbarkeit .....	124
6.5.3	Funktionsweise und Einsatz der Messtechnik.....	125
6.5.3.1	In-situ-Gammaspektrometrie .....	125
6.5.3.2	Gamma-Kamera .....	128
6.5.3.3	Neutronenmessverfahren .....	128


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 10
---	-----------

6.5.3.3.1	Passive Neutronmessung aus der Spontanspaltung.....	129
6.5.3.3.2	Aktive Messung des Neutronenvervielfältigungsfaktors mit externer Neutronenquelle .....	129
6.5.3.3.3	Aktive Koinzidenzmessung der induzierten Gamma-Emission mit externer Neutronenquelle .....	129
6.5.3.4	Auswahl geeigneter Messverfahren zur Bestimmung von spaltbaren Stoffen .....	130
6.5.3.5	Radiochemische Laboranalyse an Proben.....	130
6.5.3.5.1	Beprobung von Flüssigkeiten.....	131
6.5.3.5.2	Beprobung der Gasphase.....	131
6.5.4	Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage .....	132
6.6	Schätzende Verfahren zur radiologischen Auswertung (zu Messkategorie D).....	132
6.6.1	Ausschluss durch Zerfall.....	133
6.6.2	Gegenüberstellung des nuklidspezifischen Gesamtinventars der ELK in Bezug zu Grenzwerten aus den EBK.....	133
6.6.3	Zusammenhänge von Nuklidaktivitäten über Zerfallsketten und ähnliche Korrelationen.....	134
6.6.4	Nuklidvektoren und Rückschluss von leicht auf schwer messbare Nuklide .....	135
6.6.5	Weitere potenziell geeignete Methoden .....	135
6.7	Zusammenfassung geeigneter Messverfahren zur Nuklidbestimmung.....	135
<b>7</b>	<b>Auslegung der notwendigen Raumbereiche.....</b>	<b>137</b>
7.1	Räumliche Anordnung der Messbereiche (bauliche Hülle) .....	138
7.1.1	Untergeschoss.....	138
7.1.2	Erdgeschoss.....	139
7.1.3	Obergeschoss.....	139
7.2	Bereiche für Transport- und Handhabung von Behältern .....	143
7.2.1	Öffnen der Umverpackung.....	143
7.2.2	Verschließen der Umverpackung .....	144
7.2.3	Entnahme von Innenbehältern aus der Umverpackung.....	145
7.2.4	Transport des Innenbehälters in der Anlage .....	145
7.2.5	Entdeckung des Innenbehälters in der Anlage .....	145
7.2.6	Einsetzen von Innenbehältern in Umverpackungen innerhalb der Anlage.....	146
7.2.7	Entnahme von rückgeholten Abfällen aus dem Innenbehälter.....	146
7.2.8	Transport von rückgeholten Abfällen in der Anlage.....	147
7.3	Standardmessstationen für Feststoffe.....	147
7.3.1	Einschleusung .....	149
7.3.2	Tomographischer Scanner für IB bis 1 t.....	149
7.3.3	Radiologisches Messsystem für IB bis 1 t.....	150
7.3.4	Ausschleusung .....	150
7.4	Hantierungszellen .....	150
7.4.1	Beschreibung der Hantierungszellen .....	150
7.4.2	Aufgaben der Hantierungszellen.....	151
7.4.3	Eingesetztes Spezialequipment.....	152
7.4.3.1	Gelenkmanipulatoren.....	152
7.4.3.2	Kraftmanipulatoren .....	152
7.4.3.3	Einrichtungen zur Druckmessung und Druckentlastung.....	153
7.4.4	Abschirmung.....	153
7.5	Spezialmessstationen für weitere Charakterisierungsschritte.....	154
7.5.1	Tomographischer Scanner (für einzelne Gebinde).....	154
7.5.2	NAA (Gebindemaßstab, nur für zylindrische Gebinde).....	154
7.5.3	Neutron-Radiographischer Scanner.....	154
7.6	Förderbandmessenanlage für Salzgrus .....	154
7.7	Verarbeitungsstation für Flüssigabfälle .....	155
7.8	Laborbereich.....	156
7.9	Sonstige Bereiche.....	156
7.10	Zusammenstellung der Raumbereiche mit Durchsatzabschätzung .....	156



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 11

<b>8</b>	<b>Prozessschritte der Charakterisierung.....</b>	<b>164</b>
8.1	Prozessschritt: Anlieferung und Einschleusung in die Abfallbehandlungsanlage.....	164
8.2	Prozessschritt: Pufferlagerung .....	167
8.3	Prozessschritt: (Vor-)Behandlung .....	168
8.4	Prozessschritt: Zerstörungsfreie Messungen .....	170
8.5	Prozessschritt: Auswertung der Ergebnisse und Planung weiterer Messkampagnen .....	171
8.6	Prozessschritt: Probenahme .....	174
8.6.1	Beprobung von festen Abfällen .....	175
8.6.1.1	Behälter (intakt/beschädigt) .....	176
8.6.1.2	Zerstörte Behälter, loses Material, Salzgrus.....	177
8.6.1.3	Verlorene Betonabschirmungen.....	177
8.6.2	Beprobung von Flüssigkeiten.....	178
8.6.3	Beprobung der Gasphase.....	178
8.7	Prozessschritt: Gesamtauswertung und Export.....	179
<b>9</b>	<b>Empfehlungen für die nächsten Planungsschritte .....</b>	<b>180</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>181</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>185</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>189</b>
	<b>Anhänge .....</b>	<b>192</b>



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 12
--	-----------

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Zusammensetzung der rückzuholenden radioaktiven Abfälle.....	19
Abb. 2:	Kennbuchstaben a bis f der zugelassenen Abfallbehälter für schwachradioaktive Abfälle gem. Anhang V [43]. .....	35
Abb. 3:	Maße des 200-l-Rollreifensfasses für MAW zur Einlagerung in die Schachtanlage Asse II (verändert nach [42], [44]).....	36
Abb. 4:	Lüftungsbereiche im Untergeschoss. ....	64
Abb. 5:	Lüftungsbereiche im Erdgeschoss. ....	64
Abb. 6:	Lüftungsbereiche im Obergeschoss. ....	65
Abb. 7:	Mögliche Entsorgungsziele für rückgeholte radioaktive Abfälle sowie radioaktive Reststoffe aus dem Betrieb der Abfallbehandlungsanlage. ....	68
Abb. 8:	Übersicht und Ablaufplan der zu dokumentierenden Angaben zu den rückzuholenden radioaktiven Abfällen für die Entsorgungsziele Freigabe bzw. Zwischenlagerung zur Endlagerung. ....	70
Abb. 9:	Raubereiche der Charakterisierungsanlage auf Erdgeschoss-Ebene (Raumhöhe ca. 6 m). ....	140
Abb. 10:	Raubereiche der Charakterisierungsanlage auf Untergeschoss-Ebene (Raumhöhe ca. 5 m). ....	141
Abb. 11:	Raubereiche der Charakterisierungsanlage auf Obergeschoss-Ebene (Raumhöhe ca. 3,5 m). ....	142
Abb. 12:	Höhenabwicklung bei der Anlieferung der Umverpackung (nicht maßstabsgetreu). ...	143
Abb. 13:	Anlieferung der Umverpackungen in R132.....	143
Abb. 14:	Beispielhafte Darstellungen: Links: Blick in eine geöffnete Doppeldeckelschleuse in einen gefüllten Abfallcontainer; Containerdeckel (gelb) wird von Deckel der Doppeldeckelschleuse gehalten. Rechts: geschlossene Doppeldeckelschleuse. ....	144
Abb. 15:	Verschließen der Umverpackung sowie Weiterfahrt in das Pufferlager. ....	144
Abb. 16:	Entnahme des Innenbehälters aus der Umverpackung.....	145
Abb. 17:	Ent- bzw. Verdeckelungsstation(en) in R125.....	146
Abb. 18:	Entnahme von rückgeholten Abfällen aus dem IB in der Heißen Zelle R123.....	146
Abb. 19:	Beispiele für Transportmittel innerhalb der Abfallbehandlungsanlage. Oben links: Transferwagen mit Rollenbahnsegment für Container. Oben rechts: Rollenbahnsegment für Container, Übergabe zu Transferwagen. Unten links: Transferwagen mit Rollenbahnsegment für Fasstransport. Unten rechts: Rollenbahnsegment für Fasstransport, Übergabe zu Transferwagen. ....	147
Abb. 20:	Schematische Darstellung der Messstationen im Erdgeschoss.....	148
Abb. 21:	Schematische Darstellung der Gebinde-Haupttransportwege im Erdgeschoss. ....	149
Abb. 22:	Beispiel für eine Heiße Zelle mit 2 Strahlenschutzfenstern, 2 Gelenkmanipulatorpaaren, 2 Kraftmanipulatoren mit entsprechendem Werkzeug, 1 Standsauggerät und weiteren Bearbeitungseinrichtungen. ....	151
Abb. 23:	Beispielhafte Aufstellung der Komponenten in der Heißen Zelle R123.....	152
Abb. 24:	Beispiele für Manipulatoren. Links: Greifer für G3 Abfallcontainer (hochaktive Abfälle), Lifting Cap. 8800kg. Rechts: Mechanischer Fassgreifer für 165 Liter Pressfass. ....	153
Abb. 25:	Wesentliche Abläufe und Informationsflüsse im Bereich der Anlieferung R132 bis zur jeweiligen Einschleusung. ....	165
Abb. 26:	Wesentliche Abläufe und Informationsflüsse von der Einschleusung bis zum Transport innerhalb der ABA.....	167
Abb. 27:	Funktionale Anordnung der Pufferlagerbereiche. ....	168
Abb. 28:	Wesentliche Abläufe im Rahmen des Prozessschrittes Vorbehandlung.....	169
Abb. 29:	Auswahl und Interpretation der jeweiligen zerstörungsfreien Messmethoden auf Basis der Struktur-/Dichteverteilung. ....	172
Abb. 30:	Prozessschritt Auswertung der Ergebnisse und Planung weiterer Messkampagnen..	174
Abb. 31:	Prozessschritt und Entscheidungsschema zu der Probenahme intakter/beschädigter Behälter. ....	176



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 13

Abb. 32: Wesentliche Aspekte der Konzepterstellung zur Charakterisierung der rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle..... 182

## Tabellenverzeichnis


Tab. 1:	Nuklidinventar und mittlere Aktivitäten in der Schachanlage Asse II berechnet zum 01.01.2033 mit der Datenbank ASSEKAT 9.3.1 [56].	20
Tab. 2:	Gesamtaktivitäten pro 200 l Abfall für LAW-Abfälle gem. der Annahmebedingungen von 1971 [41].	22
Tab. 3:	Gesamtaktivitäten pro Gebinde für LAW-Abfälle gem. den Annahmebedingungen von 1975 [43].	23
Tab. 4:	Gesamtaktivitäten pro 200-l-Rollreifendose für MAW-Abfälle gem. der vorläufigen Annahmebedingungen von 1972 [42].	24
Tab. 5:	Dosisleistungskategorien und Kennzeichnungen der Abfallbehälter für LAW gem. [43].	24
Tab. 6:	Anzahl Chargen und Gebinde je maximale Dosisleistung an der Außenseite der Behälter in den LAW-Kammern zum Zeitpunkt der Ablieferung gem. ASSEKAT 9.3.1 [56].	25
Tab. 7:	Dosisleistungen der Abfallbehälter für MAW gem. der Einlagerungsbedingung von 1972 [42].	26
Tab. 8:	Anzahl Chargen und Gebinde je maximaler Dosisleistung an der Außenseite des Abschirmbehälters in der MAW-Kammer 8a/511 gem. [56].	27
Tab. 9:	Anzahl Chargen und Gebinde je maximaler Dosisleistung an der Außenseite des in den Abschirmbehälter eingestellten Fasses in der MAW-Kammer 8a/511 gem. [56].	27
Tab. 10:	Inventar von Thorium, Uran und Plutonium in der Schachanlage Asse II zum Stichtag 01.01.2033.	28
Tab. 11:	Anzahl der Gebinde je ELK, welche Thorium, Uran und Plutonium zum Stichtag 01.01.2033 enthalten.	29
Tab. 12:	Eingelagerte radioaktive Abfälle mit den deklarierten U-235-Massen in Abhängigkeit des U-235-Gehaltes in Massenprozent [32].	29
Tab. 13:	Massenanteile am gesamten eingelagerten Material gem. [54].	30
Tab. 14:	Anzahl der Gebinde nach Gebindetyp pro ELK [56].	37
Tab. 15:	Behältertypen mit unterschiedlichen Verpackungsmaterialien und Konfigurationen gemäß ASSEKAT 9.3.1 [56].	38
Tab. 16:	Konditionierungsverfahren für schwachradioaktive Abfälle (LAW) gemäß der Annahmebedingungen der GSF ([41], [43]).	39
Tab. 17:	Art und Häufigkeit der verwendeten Fixierungs- und Konditionierungsmaterialien in den eingelagerten Abfällen gem. ASSEKAT 9.3.1 [56].	39
Tab. 18:	Anzahl der Gebinde mit metallischem Abfall(-anteil) in den ELK.	41
Tab. 19:	Anzahl der Gebinde mit mineralischem Abfall(-anteil) in den ELK.	42
Tab. 20:	Anzahl der Gebinde mit kunststoffhaltigem Abfall(-anteil) in den ELK.	42
Tab. 21:	Anzahl der Gebinde mit zellulosehaltigem Abfall(-anteil) in den ELK.	43
Tab. 22:	Anzahl der Gebinde mit Tierkadavern in den ELK.	44
Tab. 23:	Anzahl der Gebinde mit verfestigtem Flüssigabfall(-anteil) in den ELK.	44
Tab. 24:	Anzahl der Gebinde mit Mischabfall(-anteil) in den ELK.	45
Tab. 25:	Zuordnung der Abfallklassen zu Gefährdungspotenzialen.	46
Tab. 26:	Potenzielle Störfälle und geeignete, beispielhafte Maßnahmen zu deren Vorbeugung und/oder Beherrschung für die Charakterisierungsanlage und zugehörige Pufferlagerung.	53
Tab. 27:	Angaben zur Beschreibung der rückgeholtten Abfälle zur Anlieferung an die Abfallbehandlungsanlage.	71
Tab. 28:	Dokumentation der Prozessschritte in der Abfallbehandlungsanlage.	72
Tab. 29:	Mindestens erforderliche Angaben zur Beschreibung der rückgeholtten charakterisierten und konditionierten Abfälle zur Übergabe an das Zwischenlager.	73



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 14



Tab. 30:	Energien und Emissionswahrscheinlichkeiten emittierter Gamma-Strahlung der in der ASSEKAT 9.3.1 [56] dokumentierten Nuklide (Auszug) .....	81
Tab. 31:	Einlagerungstechniken in den jeweiligen ELK gem. [61]. .....	83
Tab. 32:	Einteilung in Messkategorien und Übersicht über wesentlichen Anforderungen, die sich gem. den EBK [27] an die Charakterisierung der rückzuholenden radioaktiven Abfälle ergeben. ....	91
Tab. 33:	Beurteilungsmaßstäbe der Mess- und Hantierungsverfahren hinsichtlich ihrer Marktverfügbarkeit. ....	98
Tab. 34:	Darstellung der Mess- und Hantierungsverfahren hinsichtlich ihres Einsatzes zur Charakterisierung der rückgeholtten radioaktiven Abfälle.....	99
Tab. 35:	Überblick über mögliche zerstörungsfreie Messverfahren der Messkategorie A, die keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern. ....	103
Tab. 36:	Überblick über mögliche Messverfahren der Messkategorie A, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.....	103
Tab. 37:	Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Messverfahren zu Messkategorie A. ....	104
Tab. 38:	Überblick über mögliche zerstörungsfreie Mess- und Hantierungsverfahren der Messkategorie B, die keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern. ....	106
Tab. 39:	Überblick über mögliche Mess- und Hantierungsverfahren für Messkategorie B, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.....	107
Tab. 40:	Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Mess- und Hantierungsverfahren zu Messkategorie B. ....	108
Tab. 41:	Überblick über mögliche zerstörungsfreie Messverfahren der Messkategorie C, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern. ....	114
Tab. 42:	Überblick über mögliche Messverfahren der Messkategorie C, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.....	114
Tab. 43:	Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Verfahren zu Messkategorie C. ....	117
Tab. 44:	Überblick über mögliche zerstörungsfreie Verfahren der Messkategorie D, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern. ....	123
Tab. 45:	Überblick über mögliche Messverfahren zur Messkategorie D, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.....	124
Tab. 46:	Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Verfahren zu Messkategorie D.....	125
Tab. 47:	Beispielrechnung zu den erreichbaren Nachweisgrenzen in Bq für In-situ-Gammaspektrometrie für verschiedene, für die erwartete Charakterisierung wichtige Geometrien und Nuklide für zwei unterschiedliche Messzeiten.....	126
Tab. 48:	Zuordnung grundsätzlich geeigneter Messverfahren für die Nuklide in der Schachtanlage Asse II. ....	135
Tab. 49:	Zugrunde gelegte Anteile der verschiedenen Geometrien der rückgeholtten Abfälle an der Gebindezahl. ....	157
Tab. 50:	Mittlere Anlagenbelegungszeiten und Durchsatz in Abhängigkeit von Behälterzustand bzw. Messbarkeit. ....	160
Tab. 51:	Zusammenstellung der Messstationen mit zugehörigen Messverfahren, geschätzter Dauer und Flächenbedarf. ....	162
Tab. 52:	Vorzugsvariante der Probenahme sowie mögliche Rückfalloptionen für intakte/beschädigte Behälter.....	176
Tab. 53:	Vorzugsvariante der Probenahme sowie mögliche Rückfalloption für zerstörte Behälter, loses Material und Salzgrus. ....	177
Tab. 54:	Mindestanzahl an Proben je Prüfvolumen gem. [25] für loses Material. ....	177


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 15

### Anhangverzeichnis

- Anhang 1:** Behältereigenschaften der Standardbehälter der rückzuholenden radioaktiven Abfälle [56].
- Anhang 2:** Behältereigenschaften der Sonderverpackungen der rückzuholenden radioaktiven Abfälle [56].
- Anhang 3:** Energien und Emissionswahrscheinlichkeiten emittierter Gamma-Strahlung der in der ASSEKAT 9.3.1 [56] dokumentierten Nuklide.
- Anhang 4:** Restriktivste Grenzwerte in Bq für das Endlager Konrad [27] Anhang II, Tabellen 2 bis 10.
- Anhang 5:** Vergleich des nuklidspezifischen Gesamtinventars aller relevanten Nuklide pro ELK aus der ASSEKAT [56] mit den restriktivsten Grenzwerten aus den Endlagerungsbedingungen Konrad.
- Anhang 6:** Messverfahren der Messkategorie B, die im Rahmen der Konzeptplanung nicht berücksichtigt werden.
- Anhang 7:** Messverfahren der Messkategorie D, die im Rahmen der Konzeptplanung nicht berücksichtigt werden.
- Anhang 8:** Darstellung einer grundsätzlichen Methodik zur Identifikation von ELK-spezifischen Nuklidvektoren aus ASSEKAT-Daten.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 16
--	-----------


### Abkürzungsverzeichnis

<b>ABA</b>	Abfallbehandlungsanlage (funktionaler Komplex aus Charakterisierungsanlage-, Konditionierungsanlage und Pufferlagerung)
<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>ADR</b>	Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
<b>APG</b>	Abfallproduktgruppe
<b>ARGE</b>	Arbeitsgemeinschaft
<b>ARTM</b>	Atmosphärisches Radionuklid-Transport-Modell
<b>AtEV</b>	Verordnung über Anforderungen und Verfahren zur Entsorgung radioaktiver Abfälle (Atomrechtliche Entsorgungsverordnung)
<b>AtG</b>	Atomgesetz
<b>AtSMV</b>	Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung
<b>AwSV</b>	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
<b>BBG</b>	Kernkraftwerk Biblis
<b>BE</b>	Brennelement
<b>BGE</b>	Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
<b>BMUV</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Verbraucherschutz
<b>Bq</b>	Becquerel
<b>CA</b>	Charakterisierungsanlage
<b>Ci</b>	Curie
<b>cps</b>	Zählimpulse pro Sekunde (engl. <i>counts per second</i> )
<b>DGNAA</b>	Verzögerte-Gamma-Neutronen-Aktivierungsanalyse (engl. <i>Delayed-Gamma-Neutron-Activation-Analysis</i> )
<b>EBK</b>	Endlagerungsbedingungen Konrad
<b>EG</b>	Einzelbinde
<b>ELK</b>	Einlagerungskammer
<b>ESK</b>	Entsorgungskommission
<b>Euratom</b>	Europäische Atomgemeinschaft
<b>EVA</b>	Einwirkungen von außen
<b>EVI</b>	Einwirkungen von innen
<b>FMA</b>	Förderbandmessenanlage
<b>FRF</b>	Forschungsreaktor Frankfurt/Main
<b>FRM</b>	Reaktorstation Garching der Technischen Hochschule München
<b>GC</b>	Gaschromatographie
<b>GfK/KfK</b>	Gesellschaft für Kernforschung mbH/Kernforschungszentrum Karlsruhe
<b>GME</b>	Gebindemesseinrichtung
<b>GR</b>	Gamma-Radiographie
<b>GRS</b>	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH
<b>GrwV</b>	Grundwasserverordnung
<b>GSF</b>	Gesellschaft für Strahlenforschung mbH
<b>HASS</b>	<i>High-Activity Sealed Radioactive Sources</i>
<b>HEU</b>	hochangereichertes Uran (engl. <i>high enriched uranium</i> )
<b>HMI</b>	Hahn-Meitner-Institut für Kernforschung
<b>HPGe</b>	Hochreines Germanium (engl. <i>High Purity Germanium</i> )
<b>IAEO</b>	Internationale Atomenergie-Organisation
<b>IB</b>	Innenbehälter
<b>INES</b>	International Nuclear Event Scale
<b>KA</b>	Konditionierungsanlage
<b>KC</b>	Konrad Container
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>LAW</b>	Schwachradioaktive Abfälle (engl. <i>low active waste</i> )
<b>LEU</b>	schwach angereichertes Uran (engl. <i>low enriched uranium</i> )
<b>LSC</b>	Flüssigszintillationszähler (engl. <i>liquid scintillation counter</i> )
<b>MAW</b>	Mittelradioaktive Abfälle (engl. <i>medium active waste</i> )



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 17

<b>Mg</b>	Megagramm
<b>mg</b>	Milligramm
<b>MS</b>	Massenspektrometrie
<b>NAA</b>	Neutronen-Aktivierungsanalyse
<b>NLWKN</b>	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
<b>NROG</b>	Niedersächsisches Raumordnungsgesetz
<b>NWG</b>	Niedersächsische Wassergesetz
<b>ODL</b>	Ortsdosisleistung
<b>PE</b>	Polyethylen
<b>PGNAA</b>	Prompte-Gamma-Neutronen-Aktivierungsanalyse (engl. <i>Prompt-Gamma-Neutron-Activation-Analysis</i> )
<b>PL</b>	Pufferlager
<b>PP</b>	Polypropylen
<b>PSÜ</b>	periodische Sicherheitsüberprüfungen
<b>PVC</b>	Polyvinylchlorid
<b>R</b>	Röntgen
<b>REI</b>	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
<b>RFA</b>	Röntgen-Fluoreszenz-Analyse
<b>RID</b>	Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
<b>ROV</b>	Raumordnungsverfahren
<b>RR</b>	Rollreifenfass
<b>RS</b>	Rollsickenfass
<b>SBG</b>	Störfallberechnungsgrundlagen
<b>SEWD</b>	Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter ( <i>Richtlinie</i> )
<b>SSK</b>	Strahlenschutzkommission
<b>StriSchG</b>	Strahlenschutzgesetz
<b>StriSchV</b>	Strahlenschutzverordnung
<b>SV</b>	Sonderverpackung
<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>TCT</b>	Transmissions-Computertomographie
<b>TGA</b>	Technische Gebäudeausrüstung
<b>TNT</b>	Trinitrotoluol
<b>TrinkwV</b>	Trinkwasserverordnung
<b>TUE</b>	Transurane (engl. <i>transuranium elements</i> )
<b>uB</b>	unverpackte Behälter
<b>UV</b>	Umverpackung
<b>UVP</b>	Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>VAK</b>	Versuchsatomkraftwerk Kahl GmbH
<b>VBA</b>	Verlorene Betonabschirmung
<b>WHG</b>	Wasserhaushaltsgesetz

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 18

## 1 Einleitung

Die ARGE Brenk-NUKEM (bestehend aus der Brenk Systemplanung GmbH und NUKEM Technologies Engineering Services GmbH) wurde im Juni 2020 von der Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (BGE) damit beauftragt ein Konzept zu erstellen, aus dem die weiteren Planungsschritte für die Aufstellung der rechtlichen Rahmenbedingungen und der notwendigen Messverfahren und -einrichtungen für die Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II abgeleitet werden können.

Der vorliegende Endbericht stellt eine Erweiterung des Zwischenberichtes mit den darin bereits getroffenen Angaben zu den bekannten Abfalleigenschaften sowie den genehmigungsrechtlichen und technischen Randbedingungen und Planungsgrundlagen für die Charakterisierung dar.

Die Charakterisierung muss gewährleisten, dass alle relevanten Messgrößen bestimmt werden können, welche für die Wahl geeigneter Konditionierungsverfahren, die Puffer- und anschließende Zwischenlagerung sowie den Transport in ein Endlager und die Endlagerung notwendig sind. Die zu konzeptionierenden Verfahren müssen daher zum Nachweis der Erfüllung der betreffenden technischen und rechtlichen Bedingungen geeignet sein und bilden die Grundlage für die nachfolgende Entwurfs- und Genehmigungsplanung der Charakterisierungsanlage.


Die Konzeptplanung zur Charakterisierungsanlage stellt dar, welche Mess- und Hantiertechniken geeignet sind und zur Anwendung kommen sollten und wie diese sinnvoll räumlich zueinander aufgestellt werden können. Die Auswahl der geeigneten Mess- und Hantiertechniken, die Auslegung der hierfür notwendigen Raumbereiche sowie der einzelnen Prozessschritte der Charakterisierung leiten sich im Rahmen der Konzepterstellung u. a. von den folgenden Fragestellungen ab:

- Welche Informationen liegen über das eingelagerte Inventar und dessen Materialzusammensetzung vor (Kapitel 2)?
- Welche Zulassungsvoraussetzungen sind erforderlich, welche Entsorgungsziele kommen für die rückgeholten Abfälle in Frage und welche zu bestimmenden Messgrößen ergeben sich hieraus (Kapitel 3)?
- Welche technischen Randbedingungen und Planungsgrundlagen ergeben sich aus den Abfalleigenschaften und den Zulassungsvoraussetzungen (Kapitel 4)?
- Welche stellen die relevanten Messgrößen dar, die im Rahmen der Charakterisierung der rückzuholenden Abfälle zu ermitteln sind (Kapitel 5)?
- Welche Messverfahren sind geeignet, um die erforderlichen Messgrößen zu bestimmen (Kapitel 6) und welche derzeit bekannten sowie im Rahmen der Rückholung unter Tage gewonnenen Informationen über die Abfalleigenschaften können für die Auslegung der notwendigen Raumbereiche herangezogen werden (Kapitel 7)?
- Welche Prozessschritte sind notwendig, um die Entsorgungsziele zu erreichen (Kapitel 8)?
- Welche Empfehlungen können zusammenfassend für die nächsten Planungsschritte abgeleitet werden (Kapitel 9)?

Die Konzeptplanung liefert somit die zu berücksichtigenden Komponenten und Planungsgrundlagen für die weitere Planung, Auslegung und Einbindung der Charakterisierungsbereiche in die gesamte Abfallbehandlungsanlage mit dem Zwischenlager.

Im Rahmen dieser Konzeptplanung sind keine Entwicklungsarbeiten für neue Techniken zur Charakterisierung der rückzuholenden radioaktiven Abfälle enthalten. Auch die Entwurfsplanung und die weiteren Planungsschritte, einschließlich der Errichtung der Charakterisierungsanlage, sind nicht Bestandteil dieser Konzeptplanung.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 19
---	-----------

## 2 Kenntnisse zu den Eigenschaften der rückzuholenden Abfälle

Der rückzuholende radioaktive Abfall setzt sich aus dem Abfallmaterial, ggf. Fixierungs- und Konditionierungsmaterialien sowie dem Behältermaterial mit ggf. anhaftendem Salzgrus zusammen (vgl. Abb. 1). Zudem werden im Rahmen der Rückholung auch große Mengen an Salzgrus anfallen, welches zu charakterisieren ist. Eine Volumenschätzung beläuft sich hierbei auf 50.000 m<sup>3</sup> [63].

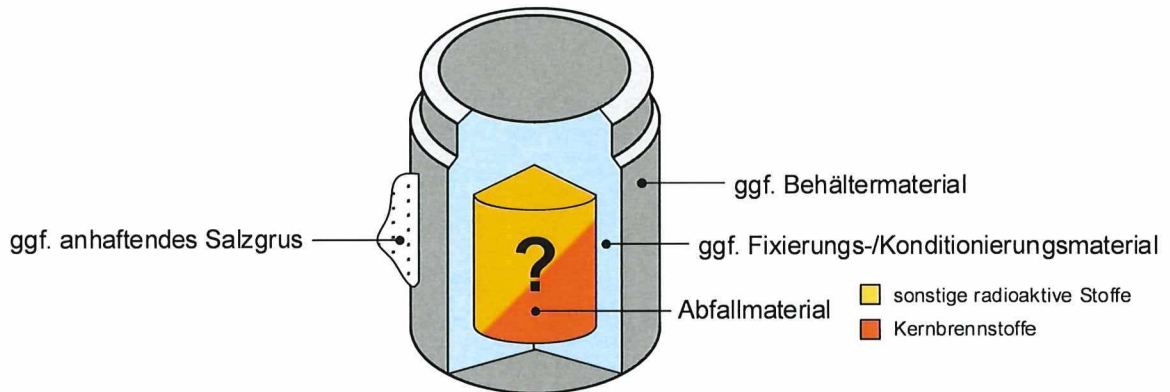


Abb. 1: Zusammensetzung der rückzuholenden radioaktiven Abfälle.

Hierbei besteht jedoch die Herausforderung, dass der genaue Inhalt des rückgeholten Abfalls (Art und/oder Menge) im Vorfeld der Charakterisierung nicht im Detail bekannt ist. Zudem wird ein großer Teil der rückgeholten Abfälle nochmals konditioniert und umverpackt werden müssen. Die rückgeholten Abfälle können somit in Anlehnung an Tabelle 1 der atomrechtlichen Entsorgungsverordnung (AtEV) [14] als Rohabfall eingestuft werden.


Für die Planung und technische Auslegung der Charakterisierungsanlage sowie für die hierfür notwendigen radiologischen Betrachtungen sind somit Kenntnisse über den Zustand und die zu erwartenden radiologischen und chemischen Eigenschaften der rückgeholten Abfälle erforderlich. Zudem müssen bei der Planung der Anlage diejenigen Vorgaben eingehalten werden, welche sich aus dem Transport, den sicherheitstechnischen Anforderungen und dem Strahlenschutz sowie aus den Entsorgungszielen ergeben.

Im vorliegenden Kapitel 2 wird zusammenfassend dargestellt, auf welche Abfalleigenschaften die Charakterisierungsanlage auszulegen ist. Dies beinhaltet derzeitige Kenntnisse über die radiologischen (Kapitel 2.1) und stofflichen (Kapitel 2.2) Eigenschaften der Abfälle und Fixierungs- und Konditionierungsmaterialien und der Behälter. Diese Informationen dienen in Verbindung mit den Entsorgungszielen und den jeweiligen genehmigungsrechtlichen Anforderungen als Planungsgrundlagen für die technische Auslegung der Charakterisierungsanlage. Die sich aus den nachfolgend zusammengestellten radiologischen und stofflichen Eigenschaften ableitbaren Planungsgrundlagen werden in den Kapiteln 3 und 4 dargestellt.

### 2.1 Radiologische Eigenschaften

In den früheren Einlagerungsgenehmigungen zu der Versuchseinlagerungszeit von 1967 bis 1971 ([35], [36], [37], [38]) und Annahmebedingungen aus der Zeit der Langzeitversuchseinlagerungen von 1971 bis 1978 ([41], [42], [43]) der Schachanlage Asse II wurden die grundsätzlich genehmigten Arten und Aktivitäten der eingelagerten schwachradioaktiven Abfälle (LAW) festgelegt. Hieraus lassen sich zu erwartende Bandbreiten hinsichtlich Nuklidinventar, Aktivitäten und Dosisleistungen der eingelagerten radioaktiven Abfälle ableiten. Zusätzlich mussten Fässer unter bestimmten Bedingungen gesondert gekennzeichnet werden. Sofern die Kennzeichnungen bei der Rückholung noch sichtbar sind, können diese wichtige Informationen für die weitere Charakterisierung liefern.

In den nachfolgenden Kapiteln 2.1.1 bis 2.1.3 werden die für die Eingrenzung des Nuklidinventars, der Aktivitäten und Dosisleistungen relevanten Vorgaben dargestellt.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 20

### 2.1.1 Nuklidinventar und Aktivitäten

In der Datenbank ASSEKAT 9.3.1 [56] sind insgesamt 155 Nuklide katalogisiert. Mit Beendigung der Einlagerung im Jahr 1978 betrug die Gesamtaktivität ca.  $10^{16}$  Bq.

Die zum Stichtag 01.01.2033 mittels ASSEKAT berechnete Gesamtaktivität ist auf ca.  $10^{15}$  Bq abgeklungen. Die zu diesem Stichtag verbleibenden 87 Nuklide mit einer mittleren Aktivität größer als 0 Bq sind mit Angabe der in der ASSEKAT hinterlegten Halbwertszeit (HWZ) und der berechneten mittleren Aktivitäten in Tab. 1 aufgeführt.


Bei dieser Berechnung ist jedoch zu berücksichtigen, dass für einen Teil der Chargen aufgrund fehlender Daten keine Aktivitätsberechnung in der ASSEKAT durchgeführt werden konnte. Die resultierenden mittleren Aktivitäten stellen somit eine Unterschätzung dar, deren Relevanz im Hinblick auf das Gesamtinventar im Rahmen der Überarbeitung der Datenbank ASSEKAT überprüft werden sollte. Dies gilt insbesondere für langlebige Nuklide sowie für den Aufbau von Tochternukliden.

Tab. 1: Nuklidinventar und mittlere Aktivitäten in der Schachanlage Asse II berechnet zum 01.01.2033 mit der Datenbank ASSEKAT 9.3.1 [56].

Nuklid	Mutter-nuklid (+), Zerfallsreihe*	mittlere Aktivität [Bq]	Halbwertszeit [a]*
H-3		1,5E+11	1,23E+01
Be-10		2,7E+03	1,39E+06
C-14		2,6E+12	5,73E+03
Na-22		3,0E+04	2,60E+00
Cl-36		7,2E+09	3,01E+05
Ca-41		3,4E+06	1,03E+05
Fe-55		1,2E+09	2,73E+00
Co-60		9,1E+11	5,27E+00
Ni-59		1,8E+12	7,50E+04
Ni-63		2,3E+14	1,00E+02
Se-79		3,4E+09	3,27E+05
Kr-85		2,6E+11	1,08E+01
Rb-87		1,7E+05	4,80E+10
Sr-90		1,3E+14	2,89E+01
Y-90		1,3E+14	7,32E-03
Zr-93		5,5E+11	1,64E+06
Nb-94		1,8E+11	2,00E+04
Mo-93		7,1E+09	4,00E+03
Tc-99		1,1E+11	2,10E+05
Pd-107		7,4E+08	6,50E+06
Ag-108m		2,1E+10	4,38E+02
Cd-113m		1,9E+10	1,46E+01
Sn-126		4,6E+09	1,98E+05
Sb-125		7,1E+08	2,76E+00
I-129		2,7E+08	1,61E+07
Cs-134		1,5E+06	2,06E+00
Cs-135		3,2E+09	2,00E+06
Cs-137		2,3E+14	3,01E+01
Ba-133		4,7E+09	1,06E+01
Pm-147		2,9E+08	2,62E+00
Sm-151		3,0E+12	9,66E+01
Eu-152		2,8E+09	1,33E+01

Nuklid	Mutter-nuklid (+), Zerfallsreihe*	mittlere Aktivität [Bq]	Halbwertszeit [a]*
Po-210		2,9E+08	3,79E-01
Po-214		2,0E+11	5,20E-12
Po-215		1,0E+09	5,64E-11
Po-218		2,0E+11	5,80E-06
Rn-219		1,0E+09	1,26E-07
Rn-222		2,0E+11	1,05E-02
Ra-223		1,0E+09	3,13E-02
Ra-226	U-238	2,0E+11	1,60E+03
Ra-228	Th-232	3,3E+11	5,75E+00
Ac-227	U-235	1,8E+09	2,18E+01
Ac-228		3,6E+07	7,00E-04
Th-227		1,0E+09	5,13E-02
Th-228	Th-232	3,3E+11	1,91E+00
Th-229	Np-237	2,2E+07	7,93E+03
Th-230	U-238	1,5E+11	7,54E+04
Th-231		5,3E+10	2,91E-03
Th-232	+	3,3E+11	1,41E+10
Th-234		1,3E+12	6,60E-02
Pa-231	U-235	9,0E+08	3,28E+04
Pa-234m		1,3E+12	2,23E-06
U-232		7,9E+08	6,89E+01
U-233	Np-237	4,5E+09	1,59E+05
U-234	U-238	1,4E+12	2,46E+05
U-235	+	5,3E+10	7,04E+08
U-236		2,4E+10	2,34E+07
U-238	+	1,3E+12	4,47E+09
Np-237	+	5,3E+09	2,14E+06
Pu-238		5,6E+13	8,77E+01
Pu-239		4,5E+13	2,41E+04
Pu-240		5,1E+13	6,56E+03
Pu-241	Np-237	5,3E+14	1,44E+01
Pu-242		9,1E+10	3,75E+05



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 21

Nuklid	Mutter-nuklid (+), Zerfallsreihe*	mittlere Aktivität [Bq]	Halbwertszeit [a]*	Nuklid	Mutter-nuklid (+), Zerfallsreihe*	mittlere Aktivität [Bq]	Halbwertszeit [a]*
Eu-154		4,8E+11	8,80E+00	Pu-244		1,0E+04	8,00E+07
Eu-155		7,2E+09	4,76E+00	Am-241	Np-237	2,6E+14	4,32E+02
Ho-166m		1,2E+06	1,20E+03	Am-242m		1,9E+10	1,41E+02
Tl-204		6,7E+06	3,78E+00	Am-243		5,3E+10	7,37E+03
Tl-207		1,0E+09	9,08E-06	Cm-243		1,1E+10	2,91E+01
Pb-210	U-238	1,7E+11	2,23E+01	Cm-244		3,9E+11	1,81E+01
Pb-211		1,0E+09	6,87E-05	Cm-245		2,7E+08	8,50E+03
Pb-214		2,0E+11	5,10E-05	Cm-246		3,3E+08	4,76E+03
Bi-210		2,9E+08	1,37E-02	Cm-247		1,9E+02	1,56E+07
Bi-211		1,0E+09	4,13E-06	Cm-248		4,0E+02	3,40E+05
Bi-214		2,0E+11	3,79E-05	Cf-249		3,1E+03	3,51E+02
Po-208		2,9E+02	2,90E+00				

\* Entsprechend der Angaben und Berechnungsgrundlagen in der ASSEKAT 9.3.1 [56].


### 2.1.1.1 Schwachradioaktive Abfälle (LAW)

In den Einlagerungsgenehmigungen der Phasen 1 bis 4 der Versuchseinlagerungen wurden drei Abfallkategorien für LAW definiert, welche im Rahmen der Genehmigung der Langzeitversuchseinlagerungen wiederum modifiziert wurden:

- Kategorie A**  
 1967 bis 1971: betonierte bzw. bitumenfixierte Verdampferkonzentrate (schwach alkalische Konzentrate von Laborwässern und Regenerierwässer von Ionenaustauschern).  
 1971 bis 1978: feste trockene Abfälle mit loser anhaftender Aktivität (z. B. Papier, getrocknete Verdampferückstände). Ab 1975 feste trockene Abfälle ohne Behandlung in beliebiger Form, jedoch keine Pulver, Granulate oder lösliche Produkte aus der Abwasserdekontamination.
- Kategorie B**  
 1967 bis 1971: paketierte feste Abfälle (Gebrauchsgegenstände aus Stahlblech, Kunststoffrohre und kontaminierte Blechteile, in Stahlblechtonnen verpackt und mit Zementbrei fixiert).  
 1971 bis 1978: feste trockene Abfälle mit fest anhaftender Aktivität (z. B. aktivierte Metallteile). Ab 1975 feste trockene Abfälle in dicht schließenden formstabilen Innenbehältern aus Blech oder Kunststoff mit einem Maximalvolumen von 30 l, welche mit einem Bindemittel (z. B. Beton oder Bitumen) zu fixieren sind.
- Kategorie C**  
 1967 bis 1971: Fällschlämme (filtrierte Fällschlämme aus der chemischen Wasseraufbereitung) oder betonierte feste Abfälle (erst ab Phase 4: auch feste Abfälle aus Bauschutt von Dekontaminationseinsätzen).  
 1971 bis 1978: Pulver, Granulate, Verdampferückstände sowie formbeständige Abfälle mit fest anhaftender Aktivität, die in einem geeigneten Bindemittel (Bitumen oder Beton) zu fixieren sind.

In den Genehmigungen zur Versuchseinlagerung wurden die folgenden Begrenzungen hinsichtlich Behälterzahl und Aktivität vorgegeben:



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 22

- Einlagerungsgenehmigung vom 22.03.1967 [35] für die 1. Phase der Versuchseinlagerung:  
Maximal 1.700 Gebinde mit einer Gesamtaktivität von ca.  $7,4 \cdot 10^{11}$  Bq in der Einlagerungskammer (ELK) 4/750. Die Aktivität wurde für die Abfälle der Kategorie A auf  $7,4 \cdot 10^8$  bis  $9,25 \cdot 10^8$  Bq je Gebinde beschränkt. Abfälle der Kategorie B durften eine Aktivität von  $3,7 \cdot 10^8$  Bq je Gebinde nicht überschreiten, Abfälle der Kategorie C (Fällschlämme) wurden auf  $3,7 \cdot 10^7$  Bq je Gebinde beschränkt.
- Einlagerungsgenehmigung vom 21.09.1967 [36] für die 2. Phase der Versuchseinlagerung:  
Maximal 3.000 Gebinde ohne Vorgaben zur maximalen Gesamtaktivität, es durften jedoch nur noch Behälter angenommen werden, deren Inhalt
  - nicht gär- und faulfähig ist,
  - keine heftigen chemischen Reaktionen erwarten lässt,
  - keine Korrosion von innen bewirkt,
  - frei von flüchtigen Nukliden und
  - frei von entzündlichen Stoffen ist.
- Einlagerungsgenehmigung vom 24.04.1969 [37] für die 3. Phase der Versuchseinlagerung:  
Maximal 3.000 Gebinde ohne Vorgaben zur maximalen Gesamtaktivität.
- Einlagerungsgenehmigung vom 28.10.1970 [38] für die 4. Phase der Versuchseinlagerung:  
Maximal 4.000 Gebinde ohne Vorgaben zur maximalen Gesamtaktivität.


In allen vier Genehmigungen sind, mit Ausnahme der flüchtigen Nuklide, keine nuklidspezifischen Begrenzungen enthalten ([33], [35], [36], [37], [38]).

In den Annahmebedingungen aus der Zeit der Langzeitversuchseinlagerungen von November 1971 bis Dezember 1978 ([41], [43]) wurden die Gesamtaktivitäten pro Gebinde für LAW-Abfälle festgelegt (vgl. Tab. 2 und Tab. 3).

Tab. 2: Gesamtaktivitäten pro 200 l Abfall für LAW-Abfälle gem. der Annahmebedingungen von 1971 [41].

Abfall-kategorie	Behandlung	Zulässige Aktivität in [Bq] <sup>1)</sup> pro 200 l Abfall	
		Blechtrommel / Rollsickenfass	Blechtrommel / Rollsickenfass, allseitige Betonauskleidung, Rollreifenfass
A	Ohne Behandlung	0	$7,40 \cdot 10^9$
	Beton oder Gleichwertiges	$7,40 \cdot 10^9$	$3,70 \cdot 10^{10}$
B	Ohne Behandlung	0	$3,70 \cdot 10^{10}$
	Beton oder Gleichwertiges	$3,70 \cdot 10^{10}$	$1,85 \cdot 10^{11}$
C	Fixierung an in Wasser und Salzlauge löslichen Materialien	0	$3,70 \cdot 10^{10}$
	Fixierung an in Wasser und Salzlauge nicht löslichen Materialien	$1,85 \cdot 10^{11}$	$1,85 \cdot 10^{11}$

<sup>1)</sup> Originalangaben in Ci umgerechnet in Bq (1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq).

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 23

Tab. 3: Gesamtaktivitäten pro Gebinde für LAW-Abfälle gem. den Annahmebedingungen von 1975 [43].

Abfallkat. mit Strahlungsart		Maximal zulässige Aktivität in [Bq] <sup>1)</sup> pro Abfallbehälter					
		Blechtrommel / Rollsickenfass		Blechtrommel / Rollsickenfass, allseitige Betonauskleidung, Rollreifen- oder Rollsickenfass mit Flanschdeckel		200-l-Fass in 400-l-Fass, mit Beton ausgegossen	VBA mit Einsatzbehälter
		200 l	400 l	200 l	400 l	200 l	max. 200 l
A	α	nicht zulässig	nicht zulässig	3,70·10 <sup>7</sup>	3,70·10 <sup>7</sup>	3,70·10 <sup>8</sup>	7,40·10 <sup>8</sup>
	β/γ	nicht zulässig	nicht zulässig	3,70·10 <sup>9</sup>	3,70·10 <sup>9</sup>	3,70·10 <sup>10</sup>	7,40·10 <sup>10</sup>
B	α	nicht zulässig	nicht zulässig	1,85·10 <sup>9</sup>	3,70·10 <sup>9</sup>	3,70·10 <sup>9</sup>	7,40·10 <sup>9</sup>
	β/γ	nicht zulässig	nicht zulässig	3,70·10 <sup>10</sup>	7,40·10 <sup>10</sup>	7,40·10 <sup>10</sup>	1,85·10 <sup>11</sup>
C	α	7,40·10 <sup>9</sup>	1,48·10 <sup>10</sup>	7,40·10 <sup>10</sup>	1,48·10 <sup>11</sup>	1,48·10 <sup>11</sup>	3,70·10 <sup>11</sup>
	β/γ	1,85·10 <sup>11</sup>	3,70·10 <sup>11</sup>	1,85·10 <sup>11</sup>	3,70·10 <sup>11</sup>	3,70·10 <sup>11</sup>	9,25·10 <sup>11</sup>

<sup>1)</sup> Originalangaben in Ci umgerechnet in Bq (1 Ci = 3,7·10<sup>10</sup> Bq).


In den Annahmebedingungen für LAW gab es eine Sonderregelung für umschlossene Strahlenquellen, die eine Überschreitung der zulässigen Aktivitäten je Gebinde zuließ, sofern die Dosisleistungswerte (s. Kapitel 2.1.2) an der Oberfläche der Gebinde eingehalten wurden. In den Annahmebedingungen der Langzeitversuchseinlagerungen von 1971 [41] und 1975 [43] sind zudem folgende Begrenzungen für bestimmte Radionuklide enthalten:

- Der Gehalt an Kernbrennstoffen (U-235, U-233, Pu-239 und Pu-241) je 200-l-Gebinde musste kleiner 15 g sein. Daneben wurden weitere Regelungen getroffen (s. Kapitel 2.1.3).
- Die Einlagerung von radiumhaltigen Abfallstoffen (Ra-226, Ra-228) wurde nur zusammen mit geeigneten Adsorptionsmitteln (Aktivkohle oder Torf) in einem Rollreifenfass zugelassen, welches an der Außenseite mit einem „Ra“ gekennzeichnet werden musste.
- Tritiumhaltige Abfälle durften nur bis zu einer Aktivität von 3,7·10<sup>8</sup> Bq pro Gebinde angeliefert werden. Ausnahmeregelungen waren möglich und mussten mit entsprechender Aufschrift erfolgen. Diese Ausnahmeregelung ist in den Annahmebedingungen von 1975 [43] nicht mehr enthalten.
- Ab 1975 [43] waren thoriumhaltige Abfälle wie die radiumhaltigen Abfälle zusammen mit Adsorptionsmittel einzulagern und die Gebinde an der Außenseite mit „Th“ zu kennzeichnen.

### 2.1.1.2 Mittelradioaktive Abfälle (MAW)

In den vorläufigen Annahmebedingungen zu den MAW-Abfällen von 1972 [42] für die Einlagerung auf der 511-m-Sohle von August 1972 bis Dezember 1977 wurden ebenfalls Aktivitätsbegrenzungen festgelegt (vgl. Tab. 4). Die überarbeiteten MAW-Annahmebedingungen von Dezember 1976 [44] sollten für den geplanten neuen Genehmigungsantrag gelten, der jedoch nicht mehr gestellt wurde [33].



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 24

Tab. 4: Gesamtaktivitäten pro 200-l-Rollreifenfass für MAW-Abfälle gem. der vorläufigen Annahmebedingungen von 1972 [42].

Rückstände (Art)		Mittlere Aktivität pro 200-l-Fass [Bq/Fass] <sup>1)</sup>
betonfixierte	Konzentrate	ca. $3,7 \cdot 10^{10}$ bis $7,4 \cdot 10^{12}$
bitumenfixierte		
kontaminierte	Abfälle	ca. $3,7 \cdot 10^{10}$ bis $7,4 \cdot 10^{12}$
aktivierte		ca. $3,7 \cdot 10^{10}$ bis einige $10^{13}$
Brennelement-Hülsen		bis einige $10^{14}$
sonstige radioaktive feste Abfälle	kleine Metallteile	bis ca. $3,7 \cdot 10^{12}$
	Luftfilter	einige $3,7 \cdot 10^{10}$ („einige Ci“ [42])
	Glasstücke	einige $3,7 \cdot 10^{10}$ („einige Ci“ [42])
	Asche	einige $3,7 \cdot 10^{10}$ („einige Ci“ [42])
	trockene Ionenaustauscher	bis ca. $1,85 \cdot 10^{12}$

<sup>1)</sup> 1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq

## 2.1.2 Dosisleistungen

### 2.1.2.1 Schwachradioaktive Abfälle (LAW)

Die Dosisleistung wurde in den ersten vier Genehmigungen für die Abfallkategorien A und B auf maximal 2 mSv/h in 10 cm Abstand festgelegt. Für die Kategorie C wurde die Dosisleistung zunächst auf 0,05 mSv/h für Fallschlämme festgelegt. In der 4. Einlagerungsgenehmigung von 1970 [38] wurde für die betonfixierten festen Abfälle der Kategorie C die Dosisleistung auf 2 mSv/h angehoben, sowie der Zusatz ergänzt, dass für „Ausreißer“ (d. h. 10 % der Fässer jedes einzelnen Transportes) eine Dosisleistung von maximal 10 mSv/h zulässig war.

Die Dosisleistungsgrenzwerte in den Annahmebedingungen von 1971 [41], welche 1975 [43] angepasst worden sind, werden für die LAW-Abfälle in Tab. 5 aufgeführt. Die Fässer waren entsprechend ihrer Dosisleistungskategorie mit unterschiedlichen Farbringen zu kennzeichnen.

Tab. 5: Dosisleistungskategorien und Kennzeichnungen der Abfallbehälter für LAW gem. [43].

Einlagerungs- bedingung	Dosisleistungs- kategorie	Dosisleistung [mSv/h] <sup>1)</sup>		Kennzeichnung Farbringe
		an der Oberfläche des Abfallbehälters	in 1 m Abstand von der Oberfläche des Abfallbehälters	
von 1971 [41]	1	0 - 1	-	keine
	2	1 - 2	-	blau
	3	2 - 10	-	rot
von 1975 [43]	1	bis 1	bis 1	keine
	2	bis 2	bis 1	grün
	3	bis 5	bis 5	blau
	4	bis 10	bis 5	rot

<sup>1)</sup> Originalangaben in mrem/h umgerechnet in mSv/h (1 rem = ca. 10 mSv).


In der ASSEKAT 9.3.1 [56] sind für die LAW-Kammern die in Tab. 6 zusammengestellten maximalen Dosisleistungen pro Charge bzw. pro Gebinde, gemessen an der Außenseite der Behälter zum Zeitpunkt der Einlagerung, dokumentiert. Für Chargen, welche aus mehreren Einzelgebinden bestehen, liegen somit nur mittlere Angaben vor. Eine Hochrechnung der Dosisleistung auf den Zeitpunkt der Rückholung ist derzeit nicht verfügbar.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA MAK	UA AA RB	Lfd.Nr. NNNN 0002	Rev. NN 00	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000								
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 25

Tab. 6: Anzahl Chargen und Gebinde je maximale Dosisleistung an der Außenseite der Behälter in den LAW-Kammern zum Zeitpunkt der Ablieferung gem. ASSEKAT 9.3.1 [56].

Maximale mittlere Dosisleistung an der Außenseite der Behälter [mSv/h]																
ELK	0		>0 bis <0,1		0,1 bis <0,5		0,5 bis <1		1 bis <2		2 bis <5		5 bis 10		keine Daten	
	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde
1/750	14	236	422	1.256	372	1.440	366	913	299	2.259	198	3.888	51	273	20	668
10/750	34	169	311	625	191	999	239	1.875	160	691	48	91	18	54	11	160
11/750	7	41	409	933	652	2.595	668	4.274	293	1.038	107	407	45	85	4	26
12/750	19	182	352	1.457	226	931	417	2.566	273	2.040	79	155	43	101	6	32
2/750	23	263	109	393	347	1.609	247	2.762	172	1.895	75	185	68	243	13	100
2/750NA2	28	166	957	5.270	703	9.320	422	10.678	564	10.312	125	392	64	167	70	604
4/750	-	-	493	807	66	141	14	156	9	51	47	5.111	-	-	10	74
5/750	23	65	287	761	535	2.849	301	4.191	204	1.172	79	227	44	179	25	117
6/750	-	-	135	801	357	4.192	142	1.534	141	931	24	40	9	20	6	92
7/725	66	236	566	1.832	218	2.436	166	2.504	113	1.309	42	83	30	61	15	69
7/750	7	65	57	257	188	1.832	86	1.654	47	475	13	67	-	-	1	6
8/750	14	87	1.215	3.212	642	3.203	438	3.243	294	798	188	367	67	101	39	259
<b>Summe</b>	<b>235</b>	<b>1.510</b>	<b>5.313</b>	<b>17.604</b>	<b>4.497</b>	<b>31.547</b>	<b>3.506</b>	<b>36.350</b>	<b>2.569</b>	<b>22.971</b>	<b>1.025</b>	<b>11.013</b>	<b>439</b>	<b>1.284</b>	<b>220</b>	<b>2.207</b>



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BCE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 26

### 2.1.2.2 Mittelradioaktive Abfälle (MAW)

Gemäß der vorläufigen Einlagerungsbedingung der GSF [42] sowie gemäß der Genehmigung des Bergamtes Goslar [39] von 1972 durfte die Dosisleistung im Normalfall an der Oberfläche der Abschirmbehälter nicht größer als 2 mSv/h und in 1 m Abstand nicht größer als 0,1 mSv/h sein.

Eine Überschreitung der zulässigen Oberflächendosisleistung von 2 mSv/h auf 10 mSv/h wurde jedoch nach der ersten Einlagerungskampagne bis Juli 1971 bei 10 % der Gebinde einer Charge zugelassen. Auch VBA, an welchen nach der Konditionierung eine Oberflächendosisleistung über 2 mSv/h gemessen worden war, wurden mit einer zusätzlichen Abschirmung aus Stahlblech versehen und mit einer Sondergenehmigung eingelagert [31].

In Tab. 7 sind die Dosisleistungen der Abfallbehälter für MAW gem. [42] aufgeführt.

Tab. 7: Dosisleistungen der Abfallbehälter für MAW gem. der Einlagerungsbedingung von 1972 [42].

Rückstände (Art)		Bereich der Dosisleistung an der Oberfläche eines Fasses [mSv/h] <sup>1)</sup>
betonfixierte	Konzentrate	ca. 50 bis ca. 10 <sup>4</sup>
bitumenfixierte		
kontaminierte	Abfälle	ca. 50 bis ca. 10 <sup>4</sup>
aktivierte		ca. 50 bis ca. 10 <sup>5</sup>
Brennelement-Hülsen		bis ca. 10 <sup>6</sup>
sonstige radioaktive feste Abfälle	kleine Metallteile	bis ca. 10 <sup>4</sup>
	Luftfilter	bis ca. 10 <sup>2</sup>
	Glasstücke	bis ca. 10 <sup>2</sup>
	Asche	bis ca. 10 <sup>2</sup>
	trockene Ionenaustauscher	bis ca. 10 <sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Originalangaben in R/h umgerechnet in mSv/h (1 R/h ca. 10 mSv/h).

In der Genehmigung des Bergamtes Goslar von 1972 [39] sowie dem dritten Nachtrag zu dieser Genehmigung [40] sind hingegen Dosisleistungen aufgeführt, welche deutlich unterhalb der Angaben in Tab. 7 liegen:

- Genehmigung vom 27.07.1971 [39]: zwischen 0,1 Sv/h für Gebinde mit fixierten Verdampferkonzentraten und 10 Sv/h für Gebinde mit Brennelement-Hülsen.
- Dritter Nachtrag vom 22.12.1976 [40]: Anhebung der Dosisleistung für Brennelement-Hülsen auf maximal 50 Sv/h.

Die vorläufigen Einlagerungsbedingungen mit den maximal zulässigen höheren Dosisleistungen (und Aktivitäten, s. Kapitel 2.1.1.2) wurden jedoch vom Bergamt zunächst geduldet (s. hierzu die Ausführungen in [33]).

In der ASSEKAT 9.3.1 [56] sind die maximalen Dosisleistungen für Abfälle in der MAW-Kammer 8a/511 zum Zeitpunkt der Ablieferung an die Schachanlage Asse II an der Außenseite des Abschirmbehälters sowie an der Außenseite des Fasses (ohne Abschirmbehälter) dokumentiert. Die Anzahl der Chargen in den verschiedenen Größenbereichen der maximalen Dosisleistungen sind in Tab. 8 und Tab. 9 zusammengefasst. Ohne Abschirmbehälter betrug die maximale Dosisleistung zum Zeitpunkt der Einlagerung für ca. 91 % der Chargen mehr als 200 mSv/h.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BCE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 27

Tab. 8: Anzahl Chargen und Gebinde je maximaler Dosisleistung an der Außenseite des Abschirmbehälters in der MAW-Kammer 8a/511 gem. [56].

Dosisleistung [mSv/h]	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde
0	-	-
>0 bis <0,5	948	960
0,5 bis <1	160	160
1 bis <2	56	62
2 bis <5	35	35
5 bis <10	34	34
10 bis <20	14	20
20 bis <50	3	3
50 bis <100	-	-
100 bis <200	9	9
200 bis 250	2	2
Keine Daten	16	16

Tab. 9: Anzahl Chargen und Gebinde je maximaler Dosisleistung an der Außenseite des in den Abschirmbehälter eingestellten Fassens in der MAW-Kammer 8a/511 gem. [56].


Dosisleistung [mSv/h]	Anzahl Chargen	Anzahl Gebinde
0	-	-
>0 bis <1	5	5
1 bis <10	5	11
10 bis <100	41	47
10 bis <500	374	386
500 bis <1.000	205	205
1.000 bis <5.000	321	321
5.000 bis <10.000	130	130
10.000 bis <20.000	85	85
20.000 bis <25.000	40	40
25.000 bis <50.000	61	61
50.000 bis 70.000	10	10
Keine Daten	-	-

### 2.1.3 Spaltbare Stoffe

In den Jahren 1968 bis 1976 wurden fünf Aufbewahrungsgenehmigungen für Kernbrennstoffe nach § 6 AtG zur Einlagerung von kernbrennstoffhaltigen radioaktiven Abfällen erteilt [33], [34]:

- Genehmigung von 1968 [45] für die Aufbewahrung unbestrahlten Uranoxids mit insgesamt 2.000 g U-235 bei einem Anreicherungsgrad von bis zu 10 % in Abfällen und auf kontaminierten Gegenständen in Abbau 4 auf der 750-m-Sohle. Der U-235-Gehalt durfte 50 g pro 200-l-Behälter nicht überschreiten.
- Genehmigung von 1971 [46] für die Aufbewahrung von höchstens 31 kg Kernbrennstoff in bis zu 31.000 LAW-Gebinden (200-l-Behälter) in Kammern im jüngeren Steinsalz auf der 750-m-Sohle. Die Gebindezahl wurde in der 1. Änderung vom 10.06.1974 auf 56.000 erhöht. Je Gebinde waren max. 200 g U-235, 15 g U-233 und max. 15 g Pu genehmigt.
- Genehmigung von 1971 [47] für die Aufbewahrung von mittelradioaktiven Abfällen in Kammer 8a auf der 511-m-Sohle, wobei die Kernbrennstoffmenge auf 37,5 kg in max. 2.500 Gebinden begrenzt wurde. Die zulässigen Maximalgehalte der einzelnen Kernbrennstoffe je 200-l-Behälter wurden mit 200 g U-235, 15 g U-233 und 15 g Pu angegeben.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 28

- Genehmigung von 1975 [48] für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen in 200-l-Behältern entsprechend der Annahmebedingungen für LAW von 1975 [43] mit einer Mengenbegrenzung von max. 50 kg in ca. 100.000 Gebinden. Pro Gebinde war eine Kernbrennstoffmenge von 15 g für U-233 + U-235 + Pu-238 + Pu-239 + Pu-241 festgelegt.
- Genehmigung von 1976 [49] für die Aufbewahrung von 100.000 bestrahlten AVR-Brennelement-Kugeln in vier Bohrlöchern der 750-m-Sohle. Ein Genehmigungsbescheid des Bergamtes wurde hierfür im Zeitraum der Einlagerungen von radioaktiven Abfällen in die Schachtanlage Asse II nicht mehr ausgestellt.

Die in der Schachtanlage Asse II spaltbaren Stoffe gem. der Definition in § 2 Absatz 1 AtG [1] waren auf Kernbrennstoffmeldungen zu deklarieren und enthalten gemäß den Angaben auf den Begleitscheinen und Kernbrennstoffmeldungen Plutonium-Isotope (Pu-239, Pu-241) und/oder Uran-Isotope (U-233, U-235).


Daneben wurden auch größere Mengen an Thorium, Natururan und abgereichertem Uran in allen ELK eingelagert. Nach der Definition gemäß Anlage 1 AtG sind Natururan und abgereichertes Uran kein Kernmaterial. Gemäß Artikel 2 der Euratom-Verordnung Nr. 302/2005 [12] in Verbindung mit Artikel 197 des Euratom-Vertrages [13] jedoch fallen Thorium (als „Ausgangsmaterial“) sowie natürliches und abgereichertes Uran unter die dortige Definition von Kernmaterial. Derartige Abfälle in der Schachtanlage Asse II wurden als Abfall deklariert, mit dem nach der Einlagerung nicht mehr umgegangen wurde. Es wurden hierfür auch keine Kernmaterialbilanzzonen eingerichtet. Somit befanden sich natürliches und abgereichertes Uran und Thorium zum Zeitpunkt der Einlagerungen nicht in der Überwachung durch Euratom.

Anhand der Aktivitätsangaben in der ASSEKAT lassen sich die Massen der spaltbaren Stoffe berechnen. Im Rahmen einer Evaluierung des in der ASSEKAT 9.3.1 dokumentierten Kernbrennstoffinventars nach der Kernbrennstoffdefinition gemäß § 2 AtG [50] wurde das in der Jahresmeldung für die Schachtanlage Asse II gemäß der EURATOM Verordnung Nr. 302/2005 [12] für das Jahr 2018 angegebene Inventar von Thorium, Uran (Uran-gesamt, niedrig (LEU: *low enriched uranium*; < 20 mass% U-235) und hochangereichertes (HEU: *high enriched uranium*; 20 – 85 mass% U-235) Uran) und Plutonium überprüft. Die Massen wurden auf Basis der Auswertung der Daten und Informationen in der ASSEKAT 9.3.1 gem. [50] zum Stichtag 01.01.2033 neu berechnet. Die Ergebnisse dieser Neuberechnung wurden kammer-spezifisch erweitert und sind in Tab. 10 aufgeführt.

Tab. 10: Inventar von Thorium, Uran und Plutonium in der Schachtanlage Asse II zum Stichtag 01.01.2033.

ELK	Radionuklidinventar [g] zum Stichtag 01.01.2033					
	Thorium	Uran			Plutonium	
	Th <sub>ges</sub>	U <sub>ges</sub>	U <sub>nat/abg</sub>	U <sub>LEU</sub>	U <sub>HEU</sub>	Pu <sub>ges</sub>
8a/511	2.907	297.086	110.537	186.172	376,12	2.346
6/750	1.202.952	388.910	346.048	42.862	0,31	2.279
4/750	3.531.306	16.633.865	909.154	15.724.710	0	0
1/750	2.755.161	23.946.562	360	23.946.202	0	3.553
2/750mNA2	4.499.684	21.615.510	18.773.254	2.842.254	2,02	444
7/750	0	260.571	116.257	144.314	0,00041	3.633
11/750	9.669.054	1.170.808	255.297	915.511	0	2.752
5/750	372.089	354.513	47.358	307.155	0,02	1.677
7/725	3.206.794	8.165.196	122	8.165.073	1,00	2.044
10/750	3.483.958	1.050.786	158	1.050.622	6,30	24
8/750	37.286.462	28.213.219	2.363.091	25.850.106	21,26	809
12/750	10.361.568	1.286.529	217.787	1.068.742	0	2.156
2/750	5.108.293	314.424	250.124	64.300	0	4.901
<b>Summe:</b>	<b>81.480.228</b>	<b>103.697.979</b>	<b>23.389.548</b>	<b>80.308.023</b>	<b>407,02</b>	<b>26.617</b>



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 29

In Tab. 11 ist die Anzahl der Gebinde unter Aufteilung von Thorium, Uran und Plutonium auf die Gebinde je ELK zum Stichtag 01.01.2033 aufgeführt.

Tab. 11: Anzahl der Gebinde je ELK, welche Thorium, Uran und Plutonium zum Stichtag 01.01.2033 enthalten.


ELK	Anzahl Gebinde zum Stichtag 01.01.2033					
	Thorium	Uran				Plutonium
	Th <sub>ges</sub>	U <sub>ges</sub>	U <sub>nat/abg</sub>	U <sub>LEU</sub>	U <sub>HEU</sub>	Pu <sub>ges</sub>
8a/511	1.272	406	124	279	3	420
6/750	6.874	6.171	6.038	111	22	6.125
4/750	704	697	448	249	0	295
1/750	6.549	4.509	3.358	1.151	0	4.459
2/750mNA2	23.598	16.343	15.351	963	29	15.498
7/750	3.564	2.901	1.602	1.295	4	3.332
11/750	7.483	4.986	3.557	1.429	0	4.927
5/750	6.824	3.619	2.827	789	3	3.483
7/725	6.411	3.672	2.632	1.029	11	3.033
10/750	3.291	2.006	1.759	245	2	1.856
8/750	8.745	6.571	5.013	1.555	3	5.253
12/750	6.484	3.477	3.345	132	0	3.359
2/750	6.427	3.868	3.401	467	0	3.811
<b>Summe:</b>	<b>88.226</b>	<b>59.226</b>	<b>49.455</b>	<b>9.694</b>	<b>77</b>	<b>55.851</b>

Mit Ausnahme der Aufbewahrungsgenehmigung von 1968 [45] wurden keine Vorgaben zum maximalen Anreicherungsgrad von U-235 getroffen. Hierzu finden sich teilweise Angaben auf den Begleitdokumenten zu den angelieferten Abfällen. In [32] erfolgt eine Zusammenstellung der in den Begleitdokumenten angegebenen Anreicherungsgrade für die Gesellschaft für Kernforschung mbH/Kernforschungszentrum Karlsruhe (GfK/KfK) und die sonstigen Ablieferer (vgl. Tab. 12). Diese Angaben aus der ASSEKAT sind insbesondere im Rahmen der Erstellung von Antragsunterlagen (z. B. zur Umgangsgenehmigung) anhand der Primärdokumente zu verifizieren. Diese auch hierzu in [32] getroffene Empfehlung ist somit im Rahmen der Genehmigungsplanung einer weitergehenden Überprüfung zu unterziehen.

Tab. 12: Eingelagerte radioaktive Abfälle mit den deklarierten U-235-Massen in Abhängigkeit des U-235-Gehaltes in Massenprozent [32].

Bereich Anreicherungsgrad [%]	Masse U-235 [g]
Ablieferer: GfK/KfK	
0 - 0,19	643
0,20 - 0,72	7.079
0,73 - 1,4	3.881
1,5 - 3,0	1.638
3,0 - 99,9	1.786
100	907
Ablieferer: Sonstige	
0 - 0,72	2.753
0,73 - 5	4.055
5,1 - 19,9	823
> 20	742
keine eindeutige Zuordnung der U-235-Masse zu Abfällen	4.914



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 30

Im Hinblick auf die Angabe der Thorium-Masse wird in [50] empfohlen, zu differenzieren, in welcher Form das Thorium angeliefert wurde, um für die geplante Rückholung nur den meldepflichtigen bzw. den genehmigungsrelevanten Anteil darzustellen (soweit die Datenlage dies zulässt). Beispielsweise stammen ca. 45 Mg Thorium aus den vom Hahn-Meitner-Institut (HMI) angelieferten Gebinden mit Glühstrümpfen, welche von der Bilanzierung somit ausgenommen werden können.

## 2.2 Stoffliche und mechanische Eigenschaften

Um den Nachweis der Einhaltung der Schutzziele des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) [4] bei Einlagerung in ein Endlager zu erbringen [27], müssen die chemischen Komponenten der rückgehenden Abfälle bekannt sein.

In den Kapiteln 2.2.1 bis 2.2.3 werden daher detaillierte Angaben zu den Behälter-, Fixierungs- und Konditionierungs- sowie den Abfallmaterialien zusammengestellt.

Nach [54] setzt sich die Gesamtmasse des Inventars in der Schachtanlage Asse II aus folgenden Anteilen zusammen:

- Behältermaterialien ca. 52,5 % (46.728 Mg)
- Fixierungs- und Konditionierungsmaterialien ca. 17,1 % (15.210 Mg)
- Abfallmaterialien ca. 30,4 % (27.086 Mg)

In [54] wird eine Auflistung der Massenanteile aufgeführt, welche in Tab. 13 dargestellt ist<sup>1</sup>. Den größten Anteil an der Gesamtmasse der rückzuholenden radioaktiven Abfälle machen hiernach zementhaltige Materialien (i. W. aus den Behälter- und Fixierungsmaterialien) sowie FE-Metalle/Stahl aus (insgesamt 85,96 %).

Das stoffliche Inventar wird in [54] wie folgt kategorisiert:

- Die meisten von den im Inventar enthaltenen anorganischen chemotoxischen Stoffe entfallen auf die in Liste II Punkt 1 der GrWV genannten Metalloide, Metalle und ihre Verbindungen.
- Von den neun Verbindungsklassen der Liste organisch chemotoxischer Stoffe können dem Inventar in der Schachtanlage Asse II gem. [54] nur Stoffe aus den Verbindungsklassen 7 (Komplexbildner) und 8 (Tenside) zugeordnet werden.

Tab. 13: Massenanteile am gesamten eingelagerten Material gem. [54].

Materialien	Massenanteil der Materialien [%]			
	an der Gesamtmasse	im Abfallmaterial	im Behältermaterial	im Fixierungsmittel
zementhaltige Materialien	64,42	2,34	45,61	16,47
FE-Metalle/Stahl	21,54	14,74	6,80	
zellulosehaltige Materialien	5,37	5,37		
Kunststoffe	1,79	1,65	0,06	0,07
NE-Metalle (nicht näher spezifiziert)	1,20	1,20		
VDK Salz TS	1,19	1,19		
Geräteglas	0,89	0,89		
Sand/Kies/Steine	0,49	0,49		
Mineralwolle	0,36	0,36		
Kieselgur	0,35	0,35		0,01
Bitumen	0,34	0,005		0,34
Wasser	0,30			

<sup>1</sup> Hinweis: Die Massenanteile in Tab. 13 sind [54] entnommen. Hier fällt insbesondere auf, dass die Summe der Anteile für das Abfallmaterial 30,09 % anstelle von 30,43 % ergibt. Es ist zu vermuten, dass noch mindestens der Anteil von Wasser dem Abfallmaterial zugeschlagen werden sollte. Da jedoch die Primärquellen zu diesen Angaben nicht vorliegen, konnten diese Daten nicht überprüft werden (s. auch [62]).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	



Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 31

Materialien	Massenanteil der Materialien [%]			
	an der Gesamtmasse	im Abfallmaterial	im Behältermaterial	im Fixierungsmittel
Salzkonzentrat TS	0,25	0,25		
Borsäure/Borate TS	0,24	0,24		
Pulverharze	0,18	0,18		
Torf/Aktivkohle	0,16			0,15
Asche	0,16	0,16		
Aluminium	0,11	0,11		
Asbest	0,09	0,09		
Grafit	0,07	0,07		
Öl	0,06	0,06		
Chelate/Komplexbildner	0,04	0,04		
Erdreich	0,04	0,04		
Kugelharze	0,04	0,04		
Zircaloy 2	0,04	0,04		
Korrosionsprodukte	0,03	0,03		
Vermiculit	0,03			0,03
Salze FHM TS	0,03	0,03		
TBP/Kerosin	0,03	0,03		
Kupfer	0,02	0,02		
Salze TS	0,02	0,02		
Zink	0,02		0,02	
Gipsstein	0,02			0,02
Blei	0,01	0,01		0,002
BTEX/Lösemittel	0,01	0,01		
Ziegel	0,01	0,01		
Erde	0,01	0,006		
Knochenleim	0,002			0,002
restliche Materialien	0,04	0,02		
<b>Summe:</b>	<b>100</b>	<b>30,43</b>	<b>52,49</b>	<b>17,09</b>

### 2.2.1 Behältermaterial

In der Datenbank ASSEKAT werden die Leerbehälter aufgeführt, wie sie in den Annahmebedingungen der GSF von 1971 [41] und 1975 [43] für schwachradioaktive Abfälle angegeben wurden. In [43] (Anhang V) werden den zugelassenen Abfallbehältern die Kennbuchstaben a bis f zugewiesen. Diese Kennbuchstaben beinhalten wiederum folgende in Abb. 2 dargestellten Skizzen der Behältertypen:



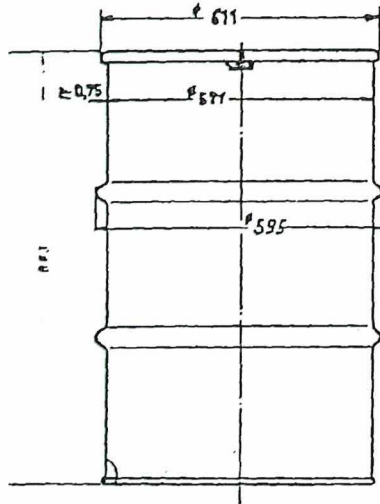
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	



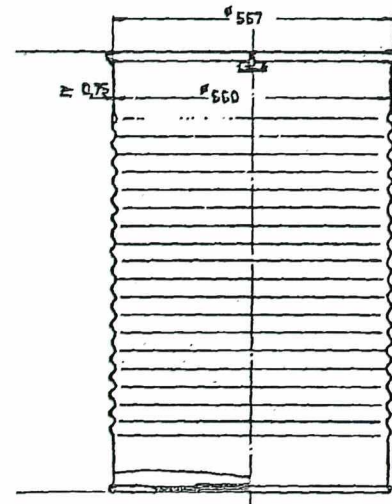
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 32

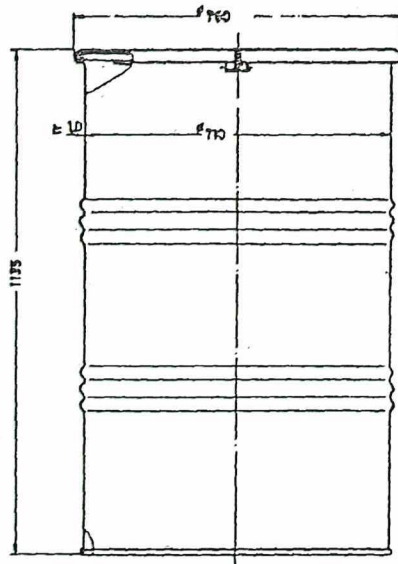
a) **Rollsickenfass 200 I mit Spannring:**



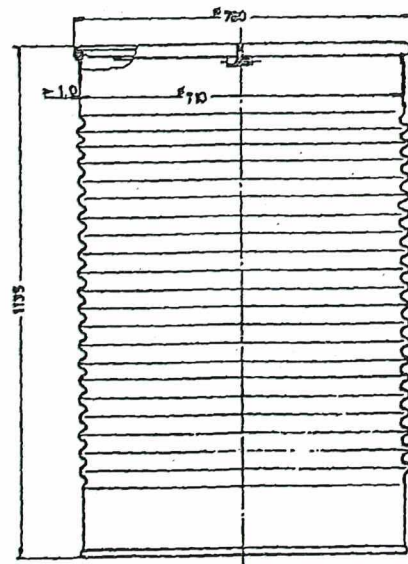
**Blechtrommel 200 I mit Spannring:**



b) **Rollsickenfass 400 I mit Spannring:**



**Blechtrommel 400 I mit Spannring:**



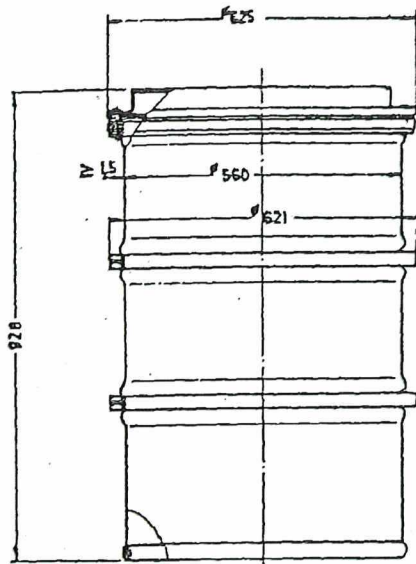
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	



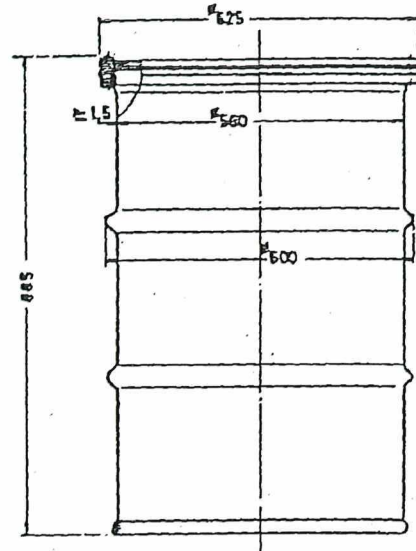
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 33

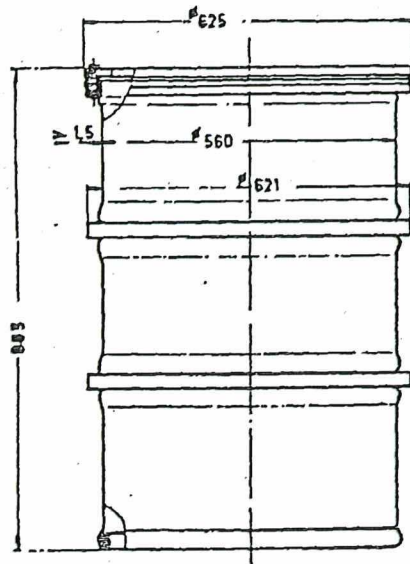
c) Rollreifenfass 200 I mit Flanschdeckel und Winkelring:



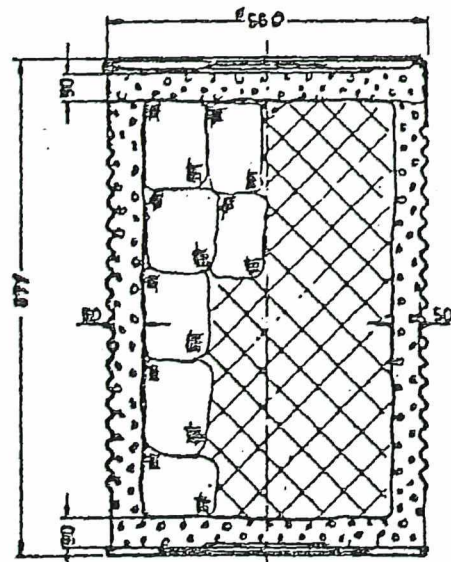
Rollreifenfass 200 I mit Flanschdeckel:




Rollsickenfass 200 I mit Flanschdeckel:



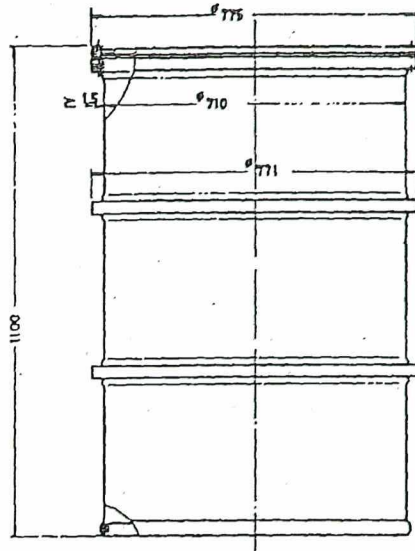
Blechtrommel oder Rollsickenfass 200 I mit allseitiger Betonauskleidung und Spannring:



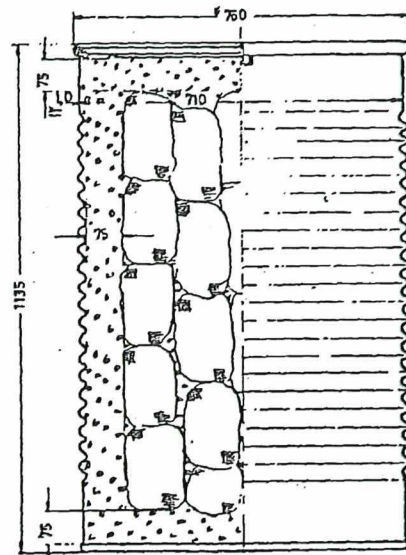


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 34

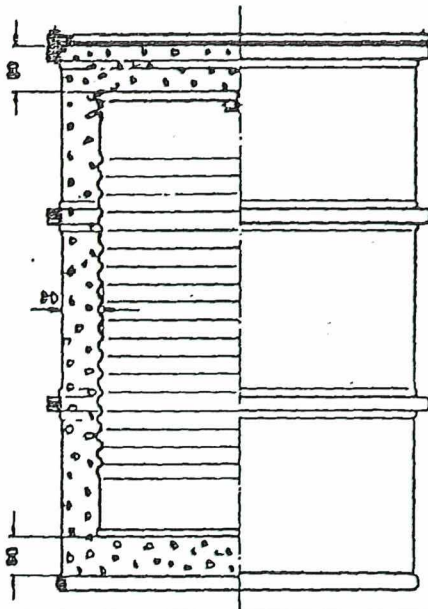
d) Rollreifen- oder Rollsickenfass 400 I mit Flanschdeckel:



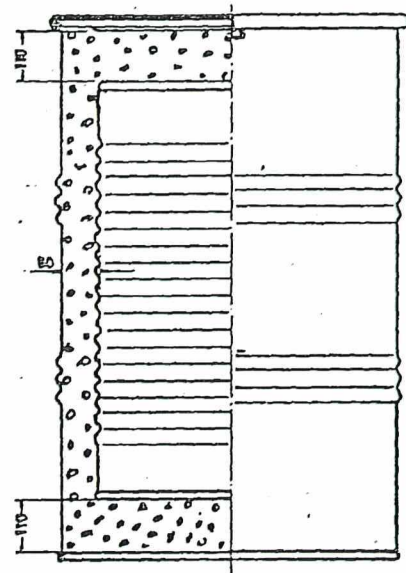
Blechtrommel oder Rollsickenfass 400 I mit allseitiger Betonauskleidung und Spanning:




e) Blechtrommel 200 I/Rollreifenfass 400 I mit Flanschdeckel:



Blechtrommel 200 I/Rollsickenfass 400 I mit Spanning:



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 35

**f) Verlorene Betonabschirmung: Armierte Betonabschirmung mit eingesetztem Metall-Behälter von maximal 200 l Volumen:**

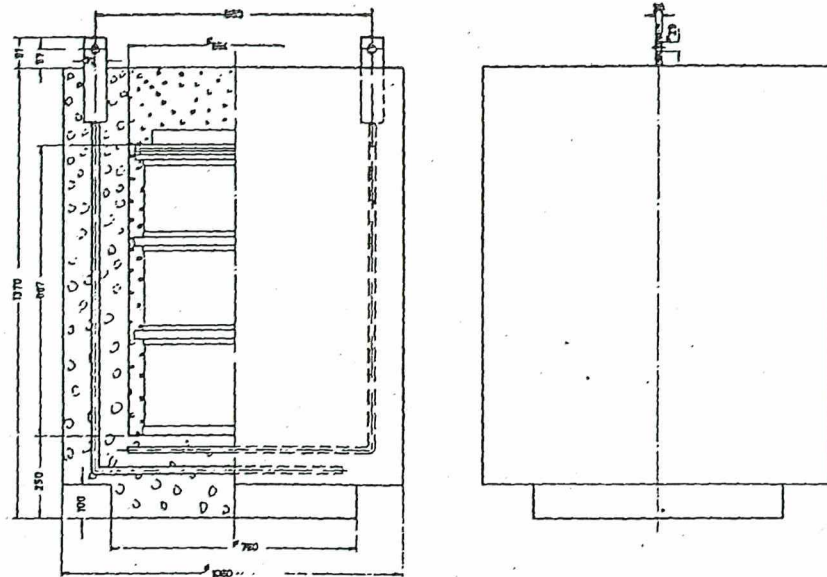



Abb. 2: Kennbuchstaben a bis f der zugelassenen Abfallbehälter für schwachradioaktive Abfälle gem. Anhang V [43].

Für diese Kennbuchstaben wurden in der ASSEKAT im Hinblick auf die statistische Auswertung Standardbehälter festgelegt. Für Kennbuchstabe **a** und **b** wurde hier das Rollsickenfass (RS) hinterlegt, die übrigen Kennbuchstaben **c** bis **f** wurden den Rollreifentässern (RR) zugeordnet.

Für MAW wurde als Verpackung ausschließlich das 200-l Rollreifentfass zugelassen, welches sich im Hinblick auf die Maß- und Toleranzangaben „sowie verschiedener Besonderheiten“ von den nach DIN 6635 [59] und DIN 6636 [60] genormten Fasstypen unterscheidet [42]. Eine Skizze ist in Abb. 3 dargestellt. Die bituminierten MAW wurden als „Fass-in-Fass“ verpackt, d. h., die 175-l-Trommeln mit den Abfällen wurden in die 200-l-Rollreifentfässer eingestellt, der Zwischenraum wurde mit Zementleim vergossen. Die betonierten MAW wurden direkt in die 200-l-Fässer verpackt. Bei der verlorenen Betonabschirmung (VBA, Kennbuchstabe **f**) wurden 200-l-Rollreifentfässer in vorgefertigte Einzelabschirmbehältern eingesetzt und der noch verbleibende Hohlraum mit Beton bis zur Oberkante ausgefüllt. Ein geringer Anteil der eingelagerten VBA enthält auch 250-l- und 400-l-Abfallfässer [54]. In der ASSEKAT wurde das Abfallvolumen einer VBA grundsätzlich mit 200 l angesetzt, sofern kein anderes Abfallvolumen deklariert worden ist [52]. Teilweise sind in einigen VBA noch zusätzliche Abschirmungen eingebracht worden. Es ist zudem nicht auszuschließen, dass auch einige VBA direkt mit Abfällen befüllt wurden [31].

Die VBA als Einwegbehälter hat eine Abschirmdicke von 203 mm Beton, wobei hier entweder Normalbeton (Dichte  $\rho = 2,3 \text{ Mg/m}^3$ ) oder Barytbeton (Dichte  $\rho = 3,5 \text{ Mg/m}^3$ ) verwendet wurde. In der ASSEKAT wurden die VBA nach Art des Betons unterschieden. Bei einer Gesamtgebundemasse von bis zu 2.800 kg wurde die VBA dem Normalbeton zugeteilt, darüber hinaus erfolgte die Zuteilung dem Schwerbeton [52].



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 36

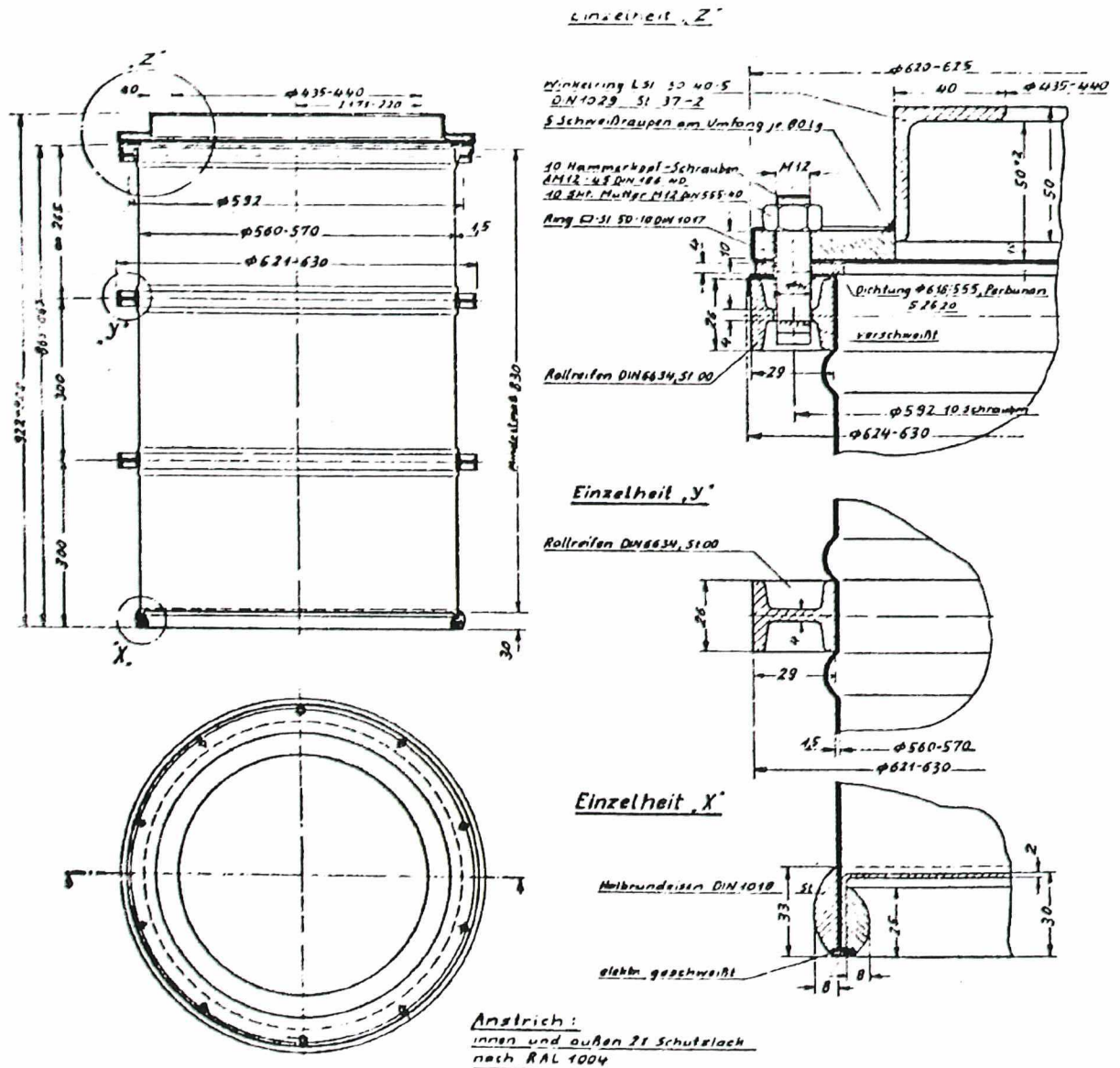



Abb. 3: Maße des 200-I-Rollreifenfasses für MAW zur Einlagerung in die Schachtanlage Asse II (verändert nach [42], [44]).

Es wurden auch 100-I-, 150-I-, 250-I- und 300-I-Fässer in der ASSEKAT-Datenbank dokumentiert. In der ASSEKAT-Datenbank 9.3.1 [56] sind in der Tabelle „Verpackungen-mod“ die im Rahmen der Überarbeitung der Datenbasis neu definierten Verpackungstypen sowie eine Beschreibung der stofflichen Zusammensetzung der Verpackungsmaterialien enthalten. Hierin sind auch den vor 1971 eingelagerten Abfällen Verpackungsarten zugeordnet.

Neben dem Stahl der Behälter sowie zusätzlichen Blei- und Stahlabschirmungen in insgesamt 152 Behältern [33] werden Angaben zu Betonauskleidungen sowie Zuschlägen von Normal- oder Schwerbeton, Eisengranulaten und Zementleim zur Resthohlraumverfüllung für die verschiedenen Verpackungen gemacht. Auch unverpackte Abfälle wurden angeliefert, wie z. B. Wärmetauscher, Verdampfer und verschiedene Apparateile.

Die ASSEKAT enthält für alle 19.081 Chargen (eine Charge kann auch nur aus einem einzelnen Gebinde bestehen) fassspezifische Daten aller Übernahmedokumente. Hiervon sind 1.277 Chargen (alle in der ELK 8a/511m eingelagert) nicht in der Tabelle „Behälter“ katalogisiert. Diesen wurden in der Tabelle „Verpackungen-mod“ 200-I-Rollreifenfässer für MAW-Abfälle bzw. 200-I-Rollreifenfässer mit eingestellten 180-I-Innenfässern für bituminierte MAW-Abfälle zugeordnet.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 37

Die Angaben in der ASSEKAT wurden Behältertyp- und ELK-spezifisch hinsichtlich der Anzahl der Gebinde ausgewertet (s. Tab. 14). Hieraus lässt sich ableiten, dass ca. 76 % der zu bergenden Behältertypen 200-I-Fässer darstellen werden. 400-I-Fässer sowie VBA haben jeweils einen Anteil von ca. 11 %. Die übrigen Gebindetypen und unverpackte (sperrige) Abfälle (Sonderverpackungen) machen nur einen geringen Anteil an der eingelagerten Menge aus.

Tab. 14: Anzahl der Gebinde nach Gebindetyp pro ELK [56].

ELK	Behältertyp <sup>*)</sup>									Summe:
	100	150	200	250	300	400	SV	uB	VBA	
8a/511	0	0	1.301	0	0	0	0	0	0	<b>1.301</b>
6/750	0	0	1.617	0	0	1.184	0	10	4.799	<b>7.610</b>
4/750	0	100	6.165	25	30	10	10	0	0	<b>6.340</b>
1/750	0	0	10.156	0	25	752	0	1	0	<b>10.933</b>
2/750mNA2	0	0	30.512	0	0	6.392	3	2	0	<b>36.909</b>
7/750	0	0	1.079	0	0	139	0	0	3.138	<b>4.356</b>
11/750	16	0	3.965	30	50	604	0	3	4.731	<b>9.399</b>
5/750	0	0	7.013	0	3	1.345	2	0	1.198	<b>9.561</b>
7/725	0	0	7.643	0	12	840	0	0	35	<b>8.530</b>
10/750	76	0	4.266	20	14	280	0	0	8	<b>4.664</b>
8/750	213	0	10.192	0	154	709	2	0	0	<b>11.270</b>
12/750	0	0	6.080	428	24	215	0	0	717	<b>7.464</b>
2/750	0	0	5.372	185	29	1.711	0	0	153	<b>7.450</b>
<b>Summe:</b>	<b>305</b>	<b>100</b>	<b>95.361</b>	<b>688</b>	<b>341</b>	<b>14.181</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>14.779</b>	<b>125.787</b>
<b>Anteil [%]</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>75,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>11,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>11,7</b>	


<sup>\*)</sup> Erläuterung:

- 100: 100-I-Fass (Blechtrommel oder Rollsicken)
- 150: 150-I-Fass (Versandtrommel)
- 200: 200-I-Fass (Rollreifen, Blechtrommel oder Rollsicken)
- 250: 250-I-Fass (Blechtrommel oder Rollreifen)
- 300: 300-I-Fass (Rollreifen)
- 400: 400-I-Fass (Rollreifen, Blechtrommel oder Rollsicken)
- SV: Sonderverpackung
- uB: unverpackte Behälter
- VBA: Verlorene Betonabschirmung

Angaben zur Bruttomasse der Gebinde unter der Einstufung in bestimmte Gewichtskategorien wurden erst mit Inkrafttreten der Annahmebedingung von 1975 [43] gefordert. Die Angaben auf den Begleitlisten enthalten entweder die festgelegten Gewichtskategorien, gemessene Werte oder Gewichtskategorien, die nicht in den Annahmebedingungen vorgegeben wurden. Teilweise wurden jedoch auch nicht plausible Massen angegeben, welche nachträglich nicht mehr exakt nachzuvollziehen sind [61].

Eine zusammenfassende Übersicht über die Behältermaterialien je Behältertyp sowie der verwendeten Verfüllmaterialien gemäß ASSEKAT 9.3.1 [56] ist in Tab. 15 dargestellt. Ein Behältertyp kann hierbei auch mehrere Konfigurationen hinsichtlich des Verpackungsmaterials aufweisen.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 38

Tab. 15: Behältertypen mit unterschiedlichen Verpackungsmaterialien und Konfigurationen gemäß ASSEKAT 9.3.1 [56].

Behälter- typ <sup>*)</sup>	Verpackungsmaterial							
	Eisen	Blei	Beton	Zement	Zuschlag Normal- beton	Zuschlag Schwer- beton	Eisen- granulat	Zement- leim
100	X	-	-	-	-	-	-	-
150	X	-	-	-	-	-	-	-
200	X	-	-	-	-	-	-	-
	X	X	-	-	-	-	-	-
	X	X	X	X	X	-	-	-
	X	-	X	X	X	-	-	-
	X	X	-	-	-	-	X	-
250	X	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	X	X	X	-	-	-
300	X	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	X	X	X	-	-	-
400	X	-	-	-	-	-	-	-
	X	-	X	X	X	-	-	-
SV	X	-	-	-	-	-	-	-
uB	X	-	-	-	-	-	-	-
	X	X	-	-	-	-	-	-
	X	-	X	-	-	-	-	-
VBA	X	-	X	X	X	-	-	X
	X	-	X	X	-	X	-	X


<sup>\*)</sup> Erläuterung:

- 100: 100-I-Fass (Blechtrommel oder Rollsicken)
- 150: 150-I-Fass (Versandtrommel)
- 200: 200-I-Fass (Rollreifen, Blechtrommel oder Rollsicken)
- 250: 250-I-Fass (Blechtrommel oder Rollreifen)
- 300: 300-I-Fass (Rollreifen)
- 400: 400-I-Fass (Rollreifen, Blechtrommel oder Rollsicken)
- SV: Sonderverpackung
- uB: unverpackte Behälter
- VBA: Verlorene Betonabschirmung

In Anhang 1 sind die der ASSEKAT 9.3.1 [56] entnommenen Eigenschaften der Standardbehälter und Sonderverpackungen tabellarisch zusammengestellt.

### 2.2.2 Fixierungs- und Konditionierungsmaterial

In den Einlagerungsgenehmigungen ([35], [36], [37], [38]) und Annahmebedingungen ([41], [42], [43]) der Versuchs- und Langzeiteinlagerungen wurde die Art der Konditionierung für schwach- und mittelradioaktive Abfälle vorgegeben sowie die Sonderbehandlungen für radium- und tritiumhaltige Abfälle, Kernbrennstoffe und radioaktive Quellen spezifiziert. Mit Ausnahme der radium- und tritiumhaltigen Abfallstoffe wurden gasförmige Radionuklide oder Radionuklide, die gasförmige Tochterprodukte bilden, im Normalfall zur Einlagerung in der Schachanlage Asse II nicht angenommen (s. Tab. 16). In Ausnahmefällen war die GSF jedoch auch bereit, im Einvernehmen mit den Aufsichtsbehörden Abfallstoffe anzunehmen, die zwar die vorliegenden Annahmebedingungen nicht erfüllten, jedoch keine Beeinträchtigung der Sicherheit darstellen sollten [41]. Diese Ausnahmen nachträglich zu identifizieren und einzelnen Gebinden zuzuordnen ist aufgrund der Datenlage jedoch nicht möglich.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 39

Tab. 16: Konditionierungsverfahren für schwachradioaktive Abfälle (LAW) gemäß der Annahmebedingungen der GSF ([41], [43]).

Abfallart	Zustand der Abfälle	Art der Konditionierung	Bindemittel/Matrix/Adsorptionsmittel
<b>Schwachradioaktive Abfälle:</b>			
Kategorie A	feste, wasserfreie Abfälle mit lose anhaftender oder nicht gebundener Aktivität	ohne Behandlung	
		Einbettung in Matrix	Beton oder Gleichwertiges
Kategorie B	feste, wasserfreie Abfälle mit fest anhaftender Aktivität	ohne Behandlung	
		Einbettung in Matrix	Beton oder Gleichwertiges
Kategorie C	in Bindemittel verfestigte Abfälle	Fixierung an Bindemittel	in Wasser und Salzlauge lösliche Materialien
		Fixierung an Bindemittel	in Wasser und Salzlauge nicht lösliche Materialien (z. B. Beton, Bitumen)
<b>Sonderregelungen:</b>			
Radiumhaltig			Aktivkohle, Korkmehl, Torf
Tritiumhaltig	fest, verfestigt		
Radionuklide mit Freigrenze $3,7 \cdot 10^3 \text{ Bq}^1$		Einbettung in Matrix	Beton, Bitumen oder Gleichwertiges

<sup>1)</sup> Originalangaben in Ci umgerechnet in Bq ( $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ ).


Für die MAW galt ab 1972, dass ausschließlich mit Bindemittel verfestigte Abfälle oder in geeignetem (vermutlich kohäsiven) Material eingebettete feste Abfälle angenommen wurden. Hierfür wurde vorrangig Beton oder Bitumen verwendet.

In der Datenbank ASSEKAT 9.3.1 [56] wurden den 19.081 Chargen die jeweiligen Konditionierungsverfahren zugeordnet. Für insgesamt 478 Chargen wurde zudem auch eine zweite Konditionierungsmethode angegeben. Die eingesetzten Konditionierungsmittel sind unter Angabe der Anzahl der Chargen in Tab. 17 aufgeführt. Hierin enthalten sind auch Chargen, zu welchen keine Angaben gemacht wurden. Den größten Anteil an den insgesamt eingesetzten Fixierungs- bzw. Konditionierungsmaterialien stellt hierbei die Betonierung/Zementierung der Abfälle dar.

Tab. 17: Art und Häufigkeit der verwendeten Fixierungs- und Konditionierungsmaterialien in den eingelagerten Abfällen gem. ASSEKAT 9.3.1 [56].

Bindemittel / Matrix / Adsorptionsmittel	Anzahl der Gebinde	
	Material für 1. Konditionierungsmethode	Material für 2. Konditionierungsmethode
Beton	47.695	798
Betonzuschlagmittel	17	-
Zement	9.829	1.335
<i>davon mit Ölschieferasche</i>	974	-
Adsorptionsmittel, davon	2.499	1.095
<i>Aktivkohle</i>	109	116
<i>Diaton</i>	60	79
<i>Polystyrol/Divinylbenzol</i>	671	361
<i>Torf</i>	123	123
<i>Vermiculite</i>	1.307	416
<i>Warisorb Spezial</i>	156	-
<i>nicht spezifiziert</i>	73	-



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 40

Bindemittel / Matrix / Adsorptionsmittel	Anzahl der Gebinde	
	Material für 1. Konditionierungsmethode	Material für 2. Konditionierungsmethode
Bitumen	2.710	413
(Natrium-)Metaborat	994	7
Gips	51	-
Leim	1	61
Ohne Behandlung (z. B. verpackt/verpresst/verschweißt)	16.783	46
nur Zusatzabschirmung, davon	65	18
<i>Betondeckel</i>	43	1
<i>Blei</i>	9	11
<i>Stahl</i>	12	-
<i>Titan</i>	1	6
keine Angabe, davon	45.143	-
"fixiert"	18	-
"gebunden"	19	-


Die Fixierung bzw. Verfestigung der Abfälle erfolgte nach dem damaligen Stand der Technik. In der Anfangszeit der Einlagerung gab es jedoch einige dokumentierte Vorfälle, die belegen, dass die Fixierung bzw. Verfestigung nicht sachgerecht durchgeführt worden ist [33]. Somit muss während der Charakterisierung mit der gesamten Bandbreite von festen bis hin zu losen Abfällen umgegangen werden.

## 2.2.3 Abfallmaterial

### 2.2.3.1 Zuordnung zu Abfallklassen

In der Datenbank ASSEKAT 9.3.1 [56] ist die Datentabelle „Katalog Abfallart“ enthalten, welche 601 verschiedene Abfallarten auflistet, wobei ein Gebinde auch mehreren Abfallarten zugeordnet sein kann. Dieser Katalog ist auf Basis neuerer Erkenntnisse nachträglich modifiziert und artgleiche Materialien weitestgehend zusammengefasst worden („Katalog Abfallart-mod“). Hierin sind nur noch 72 verschiedene Abfallarten dokumentiert. Basierend auf den Angaben in der ASSEKAT wurden bereits verschiedentlich Untersuchungen durchgeführt, im Rahmen derer die Materialien klassifiziert worden sind ([53], [54]). In Anlehnung an Anlage 1, Tabelle 3 der AtEV [14] sowie an das RS-Handbuch 3.59 [6] können daher, basierend auf den Angaben in der ASSEKAT, die nachfolgenden Abfallklassen zusammengefasst und eine Mengenabschätzung pro ELK gegeben werden. In der ASSEKAT wurden den Chargen teilweise verschiedene Abfallklassen zugeordnet, weshalb die in den nachfolgenden Kapiteln angegebenen Anteile der jeweiligen Abfallklassen in Summe über 100 % liegen. Diese Zuordnung dient im Rahmen der Konzepterstellung als Übersicht über die derzeit bekannten Hauptabfallklassen. Zum derzeitigen Zeitpunkt kann auf Basis der verfügbaren Datenlage keine sortenreine Quantifizierung durchgeführt werden. Ziel der Charakterisierung ist es, die rückgeholtten Abfälle den nachfolgend aufgeführten Abfallklassen möglichst sortenrein zuzuordnen sowie ggf. weitere Abfallklassen gem. AtEV zu identifizieren.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 41

### 2.2.3.1.1 Metallische Abfälle

Die Abfallklasse „Metall“ macht in allen ELK mit 26,7 % einen relativ großen Anteil der insgesamt eingelagerten Gebinde aus (s. Tab. 18) und umfasst alle als

- Schrott,
- Metalle oder
- gem. [6] als metallische Komponenten wie
  - Sonden,
  - Geräteteile oder
  - Strahlenquellen

angegebenen eingelagerten Abfälle sowie auch die metallischen Bestandteile der Abfallbehälter (nicht in Tab. 18 enthalten, s. hierzu Kapitel 2.2.1).

Tab. 18: Anzahl der Gebinde mit metallischem Abfall(-anteil) in den ELK.

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit metallischem Abfall (-anteil)	Anteil [%]*
8a/511	1.301	809	62,2
6/750	7.610	692	9,1
4/750	6.340	801	12,6
1/750	10.933	669	6,1
2/750mNA2	36.909	12.928	35,0
7/750	4.356	620	14,2
11/750	9.399	2.472	26,3
5/750	9.561	3.744	39,2
7/725	8.530	2.932	34,4
10/750	4.664	1.482	31,8
8/750	11.270	3.874	34,4
12/750	7.464	1.456	19,5
2/750	7.450	1.056	14,2
<b>Gesamt:</b>	<b>125.787</b>	<b>33.535</b>	<b>26,7</b>


\* ohne Behältermaterial.

### 2.2.3.1.2 Mineralische Abfälle

Die Abfallklasse „mineralischer Abfall“ macht, ohne VBA-Behälter- und Konditionierungsmaterial, einen Anteil von etwa 17,3 % an den insgesamt eingelagerten Abfällen aus (s. Tab. 19) und umfasst folgende Abfallarten, welche anhand den Angaben aus der ASSEKAT-Datenbank [56] abgeleitet wurden:

- Bauschutt
- Asche
- Glas
- Beton
- Erdreich
- Kies
- Graphit, auch BE-Kugeln
- Glaswolle
- Keramik
- Sand
- Aktivkohle
- Asphalt



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 42

- Zement
- Gips
- Erz

Tab. 19: Anzahl der Gebinde mit mineralischem Abfall(-anteil) in den ELK.

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit mineralischem Abfall (-anteil)	Anteil [%]*
8a/511	1.301	16	1,2
6/750	7.610	409	5,4
4/750	6.340	801	12,6
1/750	10.933	1.873	17,1
2/750mNA2	36.909	9.043	24,5
7/750	4.356	490	11,2
11/750	9.399	1.166	12,4
5/750	9.561	716	7,5
7/725	8.530	1.760	20,6
10/750	4.664	1.028	22,0
8/750	11.270	2.566	22,8
12/750	7.464	1.509	20,2
2/750	7.450	437	5,9
<b>Gesamt</b>	<b>125.787</b>	<b>21.814</b>	<b>17,3</b>

\* ohne VBA-Behälter- und Konditionierungsmaterial.

### 2.2.3.1.3 Kunststoffe

Unter der Abfallklasse Kunststoffe sind


- Polyvinylchlorid (PVC),
- Polyethylen (PE),
- Polypropylen (PP),
- Gummi,
- Kunstharze,
- nicht näher spezifizierte Kunststoffe und
- Kollagene

berücksichtigt worden.

Der Anteil der Kunststoffe im Abfall erreicht bis zu ca. 24 % in ELK 2/750m und macht ca. 14 % vom Gesamtabfall aus (s. Tab. 20).

Tab. 20: Anzahl der Gebinde mit kunststoffhaltigem Abfall(-anteil) in den ELK.

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit kunststoffhaltigem Abfall (-anteil)	Anteil [%]
8a/511	1.301	63	4,8
6/750	7.610	1.128	14,8
4/750	6.340	580	9,1
1/750	10.933	1.239	11,3
2/750mNA2	36.909	4.754	12,9
7/750	4.356	122	2,8
11/750	9.399	1.516	16,1
5/750	9.561	1.022	10,7

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 43

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit kunststoffhaltigem Abfall (-anteil)	Anteil [%]
7/725	8.530	1.152	13,5
10/750	4.664	853	18,3
8/750	11.270	1.758	15,6
12/750	7.464	1.628	21,8
2/750	7.450	1.758	23,6
<b>Gesamt:</b>	<b>125.787</b>	<b>17.573</b>	<b>13,97</b>

#### 2.2.3.1.4 Zellulosehaltige Abfälle

Die in der Schachtanlage Asse II eingelagerten zellulosehaltigen Abfälle setzen sich aus

- Zellulose,
- Papier,
- Holz,
- Baumwolle,
- Torf,
- Zellstoff und
- pflanzlichen Abfällen

zusammen und machen insbesondere in der ELK 2/750m mit ca. 40,7 % einen bedeutenden Anteil der Abfälle aus (s. Tab. 21).


Tab. 21: Anzahl der Gebinde mit zellulosehaltigem Abfall(-anteil) in den ELK.

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit zellulosehaltigem Abfall (-anteil)	Anteil [%]
8a/511	1.301	7	0,5
6/750	7.610	765	10,1
4/750	6.340	925	14,6
1/750	10.933	2.734	25,0
2/750mNA2	36.909	8.690	23,5
7/750	4.356	157	3,6
11/750	9.399	1.324	14,1
5/750	9.561	1.669	17,5
7/725	8.530	1.793	21,0
10/750	4.664	906	19,4
8/750	11.270	2.726	24,2
12/750	7.464	2.774	37,2
2/750	7.450	3.031	40,7
<b>Gesamt:</b>	<b>125.787</b>	<b>27.501</b>	<b>21,9</b>

#### 2.2.3.1.5 Tierkadaver

In drei ELK wurden in insgesamt 15 Gebinden (s. Tab. 22) einzementierte, mumifizierte Tierkadaver eingelagert, die überwiegend mit den Radionukliden Kohlenstoff, Jod, Phosphor und Tritium kontaminiert sind. Alle dokumentierten Tierkadaver stammen aus der Kernforschungsanlage Jülich [30].



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 44

Tab. 22: Anzahl der Gebinde mit Tierkadavern in den ELK.

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit Tierkadavern	Anteil [%]
8a/511	1.301	-	-
6/750	7.610	-	-
4/750	6.340	-	-
1/750	10.933	-	-
2/750mNA2	36.909	-	-
7/750	4.356	-	-
11/750	9.399	-	-
5/750	9.561	-	-
7/725	8.530	3	0,04
10/750	4.664	-	-
8/750	11.270	-	-
12/750	7.464	1	0,01
2/750	7.450	11	0,15
<b>Gesamt:</b>	<b>125.787</b>	<b>15</b>	<b>0,01</b>

### 2.2.3.1.6 Salzgrus

Zusätzlich zu den rückzuholenden Abfällen ist auch Salzgrus zu berücksichtigen, welches ebenfalls geborgen und nach über Tage gebracht werden muss. Kontaminationen im Salzgrus sind zu erwarten, ebenso anhaftendes Salzgrus an den Behältern der rückzuholenden Abfälle. Die genaue Menge ist zum derzeitigen Zeitpunkt jedoch nicht bekannt. Als anfallendes Volumen an zu entsorgendem Salzgrus werden gemäß [63] ca. 50.000 m<sup>3</sup> zugrunde gelegt.


### 2.2.3.1.7 Verfestigte Flüssigabfälle

In der Schachtanlage Asse II wurden große Mengen an verschiedenen verfestigten Flüssigabfällen mit einer großen Bandbreite an Materialeigenschaften und chemischer Zusammensetzung eingelagert (s. Tab. 23). Hierzu gehören insbesondere folgende:

- Schlämme/Suspensionen:
  - Fällschlämme
  - Sumpfschlämme
- Konzentrate
- Lösungen
- Öle und synthetische Fette
- Chemieabwässer:
  - Betriebsabwässer
  - Prozessabwässer
  - Dekontaminationsabwässer
  - Laborabwässer

Tab. 23: Anzahl der Gebinde mit verfestigtem Flüssigabfall(-anteil) in den ELK.

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit verfestigtem Flüssigabfall(-anteil)	Anteil [%]
8a/511	1.301	400	30,7
6/750	7.610	5.157	67,8
4/750	6.340	3.123	49,3
1/750	10.933	3.802	34,8
2/750mNA2	36.909	5.424	14,7

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 45

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit verfestigtem Flüssigabfall(-anteil)	Anteil [%]
7/750	4.356	3.139	72,1
11/750	9.399	3.488	37,1
5/750	9.561	1.754	18,3
7/725	8.530	633	7,4
10/750	4.664	518	11,1
8/750	11.270	1.217	10,8
12/750	7.464	1.178	15,8
2/750	7.450	1.192	16,0
<b>Gesamt:</b>	<b>125.787</b>	<b>31.025</b>	<b>24,7</b>

### 2.2.3.1.8 Kontaminierte Salzlösung/Salzlauge

Kontaminierte Salzlösung ist nicht in der ASSEKAT 9.3.1 dokumentiert, siehe z. B. [58]. Wo und in welchem Umfang kontaminierte Salzlösungen anfallen und nach über Tage gebracht werden müssen, kann – mit Ausnahme der derzeit bekannten Fassungsstellen [57] – zum jetzigen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden. Die grundsätzliche Berücksichtigung dieser Abfallklasse ist jedoch relevant für die Planung und Auslegung der Charakterisierungsanlage im Rahmen der Handhabung und Messung. Sollte kontaminierte Salzlösung anfallen, wird diese abgepumpt und in Flüssigbehältern gefasst. Diese Flüssigbehälter werden, wie die zu bergenden Gebinde, noch in der ELK in den Innenbehälter verladen, bevor dieser für den Transport zur Abfallbehandlungsanlage in die Umverpackung gestellt wird.


### 2.2.3.1.9 Mischabfälle

Unter Mischabfall werden im Rahmen der Konzeptplanung diejenigen festen und verfestigten Abfälle zusammengefasst, welche sich entweder aufgrund ihrer heterogenen Zusammensetzung oder aber aufgrund fehlender Angaben in der Datenbank ASSEKAT ([55], [56]) keiner fest definierten Abfallklasse zuordnen lassen. Hierunter fallen z. B. Filterhilfsmittel und -rückstände, Ionenaustauscher sowie nicht näher definierte Laborabfälle und Anlagenteile. Die Bandbreite der stofflichen Eigenschaften und möglichen Gefährdungskategorien ist daher sehr groß (vgl. Tab. 25). Der Anteil der eingelagerten Gebinde, welche Mischabfälle enthalten, ist im Hinblick auf die insgesamt eingelagerten Gebinde mit 43,7 % hoch (vgl. Tab. 24).

Tab. 24: Anzahl der Gebinde mit Mischabfall(-anteil) in den ELK.

ELK	Gesamtanzahl eingelagerter Gebinde	Anzahl Gebinde mit Mischabfall(-anteil)	Anteil [%]
8a/511	1.301	30	2,3
6/750	7.610	1.866	24,5
4/750	6.340	2.252	35,5
1/750	10.933	5.269	48,2
2/750mNA2	36.909	15.967	43,3
7/750	4.356	446	10,2
11/750	9.399	2.535	27,0
5/750	9.561	5.791	60,6
7/725	8.530	5.417	63,5
10/750	4.664	2.222	47,6
8/750	11.270	4.664	41,4
12/750	7.464	4.104	55,0
2/750	7.450	4.376	58,7
<b>Gesamt:</b>	<b>125.787</b>	<b>54.939</b>	<b>43,7</b>



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 46

### 2.2.3.2 Konsistenz der Abfälle

Zu den festen Abfällen zählen mineralische und metallische Materialien sowie zellulosehaltige Abfälle und Kunststoffe.

Verfestigte Abfälle umfassen Schlämme/Suspensionen, Konzentrate, Lösungen und Chemieabwässer. Die Verfestigung dieser Flüssigabfälle erfolgte nach dem damaligen Stand der Technik. Aus der Anfangszeit der Einlagerung gibt es jedoch einige dokumentierte Vorfälle, die belegen, dass die Fixierung bzw. Verfestigung nicht sachgerecht durchgeführt worden ist [30].

Neben den eingelagerten festen bzw. verfestigten Abfällen können auch flüssige Abfälle in Form von kontaminierter Salzlösung durch beschädigte Behälter und zutretende Laugenwässer in den ELK anfallen.

Somit muss im Rahmen der Charakterisierung mit der gesamten Bandbreite von festen und losen Abfällen sowie auch flüssigen Abfällen umgegangen werden können.

### 2.2.3.3 Gefährdungspotenzial der Abfälle

Auf Basis der derzeit verfügbaren Datenlage ist die Einteilung in folgende Bandbreiten denkbarer Gefährdungspotenziale möglich:

- brennbar, schwer entflammbar oder nicht brennbar,
- potenziell gasbildend oder nicht gasbildend,
- potenziell chemotoxisch oder nicht chemotoxisch.

In Tab. 25 ist zusammenfassend dargestellt, welchen Gefährdungspotenzialen die o. g. Abfallklassen zugeordnet werden können. Diese Einteilung ist ohne genaue Kenntnis der Abfalleigenschaften nicht abschließend und bezieht sich daher im Rahmen der Konzeptplanung insbesondere auf die wesentlichen arbeits- und gesundheitsschutzrelevanten Aspekte sowie auf Eigenschaften, welche die Wahl der Konditionierungsmethode beeinflussen können.

Tab. 25: Zuordnung der Abfallklassen zu Gefährdungspotenzialen.

Abfallklasse	Brennbarkeit			Gasbildung		Chemotoxizität	
	brennbar	schwer entflammbar	nicht brennbar	potenziell gasbildend	nicht gasbildend	potenziell chemotoxisch	nicht chemotoxisch
Metallisch			X	X	X	X	X
Mineralisch			X		X	X	X
Kunststoff	X	X	X	X	X	X	X
Zellulosehaltig	X			X		X	X
Tierkadaver	X			X		X	X
Salzgrus			X		X	X	X
Verfestigter Flüssigabfall	X	X	X	X	X	X	X
Salzlösung/-lauge			X		X	X	X
Mischabfall	X	X	X	X	X	X	X


## 3 Genehmigungsrechtliche Randbedingungen und Planungsgrundlagen

Die Anforderungen aus den Regelwerken beeinflussen die bauliche und technische Auslegung der gesamten Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager und geben vor, welche Messgrößen mit welchen Nachweisgrenzen in der Charakterisierungsanlage zu bestimmen sind. Ziel der Charakterisierung ist es, eine belastbare Datengrundlage zur Art und Zusammensetzung der rückgeholtten Abfälle zu schaffen, um insbesondere

- eine lückenlose Abfalldokumentation zu gewährleisten (s. Kapitel 3.3.7),
- eine Festlegung des Entsorgungsziels zu ermöglichen (s. Kapitel 3.3.6), d. h. ob diese
  - wiederverwendet bzw. -verwertet werden können,



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -
 Blatt: 47

- eine Freigabe gem. §§ 31 - 43 StrlSchV möglich ist oder diese
- als radioaktiver Abfall konditioniert und bis zur Endlagerung zwischengelagert werden müssen,
- die Auswahl geeigneter Konditionierungsverfahren zu ermöglichen, um die Anforderungen an die Zwischenlagerung, den außerbetrieblichen Transport über öffentliche Straßen zum Endlager sowie an die Endlagerung erfüllen zu können sowie die Art und Menge der ggf. erforderlichen Nachqualifizierung vor Verbringung in ein Endlager belegen zu können (s. Kapitel 3.4 bis 3.7).

Die für die Errichtung und den Betrieb der Charakterisierungsanlage wesentlichen Verfahrensabläufe des Genehmigungsprozesses (s. Kapitel 3.1) sowie wesentliche Aspekte zur Erlangung der Zulassungsvoraussetzungen (s. Kapitel 3.2 bis 3.3) werden nachfolgend dargestellt. Zudem werden auch diejenigen Anforderungen der Konditionierung, Puffer- und Zwischenlagerung, Transport und Endlagerung dargestellt, welche Einfluss auf den Umfang der Charakterisierung haben (s. Kapitel 3.4 bis 3.7).

### 3.1 Verfahrensablauf des Genehmigungsprozesses

Die Vorhabenträgerin BGE plant die Genehmigung zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II in vier Antragskomplexe aufzuteilen [64]:

- Antragskomplex I: Ableitung der Abwetter über den neuen Schacht Asse 5
- Antragskomplex II: Errichtung der Infrastruktur über und unter Tage
- Antragskomplex III: Charakterisierung, Konditionierung und Zwischenlagerung<sup>2</sup>
- Antragskomplex IV: Rückholung der Abfälle im engeren Sinne

Hierbei sollen im Rahmen eines atomrechtlichen Trägerverfahrens die Genehmigungen nach Atomrecht, Naturschutzrecht, Baurecht und Bundesimmissionsschutzgesetz gebündelt werden [64]. Somit entfällt auch eine separate Genehmigung nach § 70 Abs. 1 S. 1 der Landesbauordnung Niedersachsen (NBauO). Die baulichen Anlagen sind dennoch entsprechend der NBauO und gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu errichten. Zudem sind die im Rahmen der Umgangsgenehmigung und der zu erstellenden Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) vorgegebenen Anforderungen zur Einhaltung der jeweiligen Schutzziele und sicherheitstechnischen Nachweise in der geplanten baulichen Ausführung zu berücksichtigen. Dies betrifft beispielsweise die Abmessungen der Wand- und Deckenstärken zur Abschirmung der Direktstrahlung beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen, den Ausbau der Logistik im Außenbereich, die Ableitung von Fortluft und betrieblichen Abwässern sowie die Gewährleistung der Zugänglichkeit von Anlagenteilen zwecks Intervention oder Instandhaltungsmaßnahmen.

Parallel zum atomrechtlichen Trägerverfahren wird für das Gesamtvorhaben ein Raumordnungsverfahren (ROV) mit den zuständigen Behörden durch die BGE betrieben. Das ROV ist eine dem atomrechtlichen Genehmigungsverfahren vorgelagerte Prüfung durch den Regionalverband Großraum Braunschweig als zuständige Landesplanungsbehörde. Gemäß der Planerischen Mitteilung zum Antragskomplex I ist „[...] davon auszugehen, dass gemäß § 10 Niedersächsisches Raumordnungsgesetz (NROG) i. V. m. § 9 NROG ein Raumordnungsverfahren (ROV) für die Gesamtheit der geplanten Antragskomplexe [...] durchzuführen ist. Im Rahmen des Verfahrens ist auf Grundlage des jetzigen Planungsstandes – nach Maßgabe der Grundsätze der Raumordnung – eine UVP durchzuführen“ [65].

Die für diese Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) relevanten Nachweisunterlagen (z. B. zu Emissionen, Ableitungen radioaktiver Stoffe, Umgang mit Abfällen etc.) sind im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung zu erstellen. Im Rahmen des ROV wird das Gesamtvorhaben gemäß § 15 ROG und § 9ff NROG auf seine Auswirkungen hin geprüft, wenn es, wie im Falle der Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager, raumbedeutsam ist und

<sup>2</sup> Diese Anlagen werden nur für den Umgang und die Puffer- bzw. Zwischenlagerung von Abfällen aus der Schachtanlage Asse II genehmigt.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 48



überörtliche Bedeutung besitzt. Das ROV schließt mit einer landesplanerischen Feststellung ab. Mit der landesplanerischen Feststellung wird dann nach einem Beteiligungsverfahren, der Erörterung sowie der raumordnerischen Prüfung entschieden, ob das Vorhaben raumverträglich ist und wenn ja, unter welchen Bedingungen es umgesetzt werden kann. Die Ergebnisse der landesplanerischen Feststellung, welche sich insbesondere auch auf sicherheitstechnische und bauliche Maßnahmen auswirken können, sind im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung der gesamten Abfallbehandlungsanlage zu berücksichtigen, diesen kommt aber keine nach außen wirkende Bindung zu.

Neben dem Raumordnungsrecht sollen die Genehmigungen nach Bergrecht und Wasserrecht gesondert beantragt werden und sind nach derzeitigem Planungsstand somit nicht Bestandteil des atomrechtlichen Trägerverfahrens.

Aufgrund der Komplexität der geplanten Errichtung einer Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager, sowie der unterschiedlichen Rechtsbereiche, die durch die Bündelung in einem atomrechtlichen Trägerverfahren betroffen sind, sollte daher der Verfahrensablauf der Genehmigung zu Antragskomplex III

- wo erforderlich bzw. sinnvoll mit Antragskomplex II harmonisiert und
- die Genehmigungsstrategie für die gesamte Anlage frühzeitig mit den Behörden abgestimmt werden.

Für Antragskomplex I wurde bereits eine planerische Mitteilung zum Antrag auf Genehmigung der Ableitung der Grubenwetter aus Schacht 5 [65] verfasst, welche das Vorhaben sowie die technischen und radiologischen Zusammenhänge für den Antragskomplex I beschreibt. Eine ähnliche Vorgehensweise sollte, unter Berücksichtigung der dort bereits erlangten Erfahrungen, auch für den Antragskomplex III zur Entwicklung der Genehmigungsstrategie für das atomrechtliche Trägerverfahren angestrebt werden.

In dieser Genehmigungsstrategie sollten mindestens folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Zulassungsvoraussetzungen des Antragskomplexes III
- Art und Umfang der einzureichenden Unterlagen
- Möglichkeiten zur Bündelung bzw. Parallelisierung von Genehmigungsunterlagen


Auch die zu beteiligenden Behörden und Ansprechpartner mit entsprechenden Zuständigkeiten sind in der Genehmigungsstrategie mit aufzuführen. Im Rahmen der Antragsstellungen zur Erlangung der atomrechtlichen Genehmigungen für die Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager sind nach aktuellem Stand die folgenden Behörden zu beteiligen:

- Das niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (NMU) bildet als oberste Landesbehörde des Landes Niedersachsen die zentrale Genehmigungsbehörde im Rahmen des gesamten Genehmigungsverfahrens zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II. Die Abteilung 4 „Atomaufsicht und Strahlenschutz“ des NMU wurde hierfür mit der Gesamtkoordination der Rückholung der radioaktiven Abfälle beauftragt.
- Das Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) übt auf Ebene einer Bundesbehörde gem. §§ 57b Abs. 9 2. Halbsatz, 23d Satz 1 Nr. 2 i. V. m. § 19 Abs. 5 AtG die staatliche Aufsicht über die strahlenschutzrechtlichen Umgangsgenehmigungen aus.
- Das BMUV übt die Fach- und Rechtsaufsicht über das BASE und die Länderaufsichten aus.

Die wesentlichen Zulassungsvoraussetzungen für die Charakterisierungsanlage sind nachfolgend zusammengestellt.

In der vorliegenden Konzeptplanung liegt der Schwerpunkt zwar auf der Charakterisierungsanlage als Teilbereich der Abfallbehandlungsanlage, im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung ist jedoch die Abfallbehandlungsanlage als Ganzes zu betrachten. Die im Rahmen der



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 49

Entwurfs- und Genehmigungsplanung zu erstellenden Nachweisunterlagen und (technischen) Konzepte dürfen sich somit nicht nur auf die Charakterisierung, sondern müssen sich auch auf die Tätigkeiten im gesamten Anlagenkomplex der Pufferlagerung, Konditionierung und dem Zwischenlager erstrecken.

### 3.2 Erforderliche Umgangsgenehmigungen

#### 3.2.1 Umgangsgenehmigung für die rückzuholenden radioaktiven Abfälle

Für den Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen ist eine Genehmigung nach § 12 StrlSchG [2] erforderlich. Radioaktive Stoffe mit einer Spaltstoffkonzentration (Plutonium-239, Plutonium-241 und/oder mit den Isotopen 235 oder 233 angereichertes Uran) größer 15 g pro 100 kg oder 15 g pro Gebinde erfordern für den Umgang eine Genehmigung nach § 9 AtG i. V. m. § 57b AtG. Neben der Umgangsgenehmigung nach § 9 AtG ist somit auch eine Genehmigung nach § 6 AtG zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen im Rahmen der Zwischenlagerung erforderlich.

Eine Genehmigung nach §§ 6 oder 9 AtG kann sich gem. § 10a AtG auch auf strahlenschutzrechtliche Genehmigungen für sonstige radioaktive Stoffe erstrecken, so dass dann für den Umgang keine separate Genehmigung nach § 12 StrlSchG mehr erforderlich ist.

Die Pufferlagerung erfolgt im Rahmen der Verarbeitung der rückgeholten radioaktiven Abfälle und ist daher Teil der Genehmigung nach § 9 AtG. Durch Bereitstellung ausreichender Pufferlagerflächen können der kontinuierliche Betrieb der Charakterisierungsanlage gewährleistet bzw. Auslastungsspitzen in der Charakterisierungsanlage ausgeglichen werden.

Im Rahmen der Genehmigung nach § 9 AtG i. V. m. § 12 StrlSchG ist eine Unterscheidung der Pufferlagerflächen nach Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen nicht erforderlich.

Für die Art der Ausgestaltung des Genehmigungsverfahrens zu Antragskomplex III liegen derzeit hierzu gem. der planerischen Mitteilung zum Antragskomplex I [65] zwei mögliche Varianten vor; eine abschließende Festlegung der BGE ist noch nicht erfolgt:

#### „Variante I:

*Es wird ein Antrag gemäß § 9 AtG für den Umgang mit Kernbrennstoffen mit Erstreckung auf § 12 StrlSchG und Konzentration des § 6 AtG für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen gestellt.*

*Dieser Antrag umfasst folgende Maßnahmen:*

- *die Errichtung und den Betrieb von Einrichtungen für die Pufferung, Charakterisierung, Konditionierung, Aufbewahrung bzw. Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen und sonstigen radioaktiven Stoffen.*

#### Variante II:

*Es wird ein Antrag gemäß § 9 AtG für den Umgang mit Kernbrennstoffen mit Erstreckung auf § 12 StrlSchG ohne Konzentration des § 6 AtG für die Aufbewahrung von Kernbrennstoffen gestellt.*

*Dieser Antrag enthält folgende Maßnahmen:*

- *die Errichtung und den Betrieb von Einrichtungen für die Pufferung, Charakterisierung, Konditionierung und Zwischenlagerung von sonstigen radioaktiven Stoffen.*


*Es wird ein weiterer Antrag gemäß § 6 AtG zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen beim Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung (BASE) gestellt.*

*Dieser Antrag enthält folgende Maßnahme:*

- *den Betrieb des Lagers zur Aufbewahrung von Kernbrennstoffen.“ [65]*

Im Hinblick auf die potenziell unterschiedlichen Zeiträume des Betriebs der Abfallbehandlung/Pufferlagerung und des Zwischenlagers, sind somit in Anlehnung an die



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 50

Variante II [65] zwei eigenständige Verfahren zur Erlangung der Genehmigungen nach § 9 AtG und § 6 AtG sinnvoll:

- Errichtung und Betrieb der Abfallbehandlungsanlage (einschließlich Pufferlagerung) nach § 9 AtG mit Erstreckung auf § 12 StrlSchG;
- Errichtung und Betrieb des Zwischenlagers nach § 6 AtG mit Erstreckung auf § 12 StrlSchG, damit im Zwischenlager eine kombinierte Lagerung ausgeübt werden kann.

Die Schnittstelle zwischen diesen beiden Verfahren bildet die Übergabe der charakterisierten und konditionierten Gebinde aus dem Bereich der Genehmigung nach § 9 AtG für die Abfallbehandlungsanlage und Pufferlagerung an die Genehmigung nach § 6 AtG für das Zwischenlager.

In das Zwischenlager werden konditionierte Abfallgebände eingelagert, welche die noch zu definierenden Annahmebedingungen des Zwischenlagers erfüllen und im Idealfall bereits die Einlagerungsbedingungen des noch zu findenden Endlagers berücksichtigen. Sofern jedoch eine Nachkonditionierung vor Einlagerung in ein Endlager erforderlich ist, können hier zwei Optionen in Betracht gezogen werden:

- a) Die Nachkonditionierung erfolgt am zukünftigen Endlagerstandort (empfohlen).
- b) Die Abfallbehandlungsanlage am Standort der Schachtanlage Asse II bleibt bis zum Abruf der Einlagerung in ein Endlager in Betrieb. Sofern sichergestellt wird, dass die Anlage und die zugehörige Genehmigung nach § 9 AtG zu diesem Zeitpunkt noch Bestand haben, kann hier bei Bedarf eine Nachkonditionierung erfolgen.

Option a) stellt hierbei diejenige empfohlene Option dar, welche mit dem geringsten baulichen und administrativen Aufwand verbunden ist.

Die zu erfüllenden Voraussetzungen zur Erteilung einer Umgangsgenehmigung betreffen u. a. die Zuverlässigkeit, Fachkunde, Kompetenzen, Ressourcen, Erfüllung von Schadensersatzverpflichtungen sowie die Einhaltung von Schutzzielen. Ein wesentlicher Bestandteil im Rahmen der Beantragung der Umgangsgenehmigungen ist die Durchführung abdeckender Aktivitätsabschätzungen zum Nachweis der Einhaltung von Schutzzielen und sicherheitstechnischen Anforderungen, wie nachfolgend in den Kapiteln 3.3.1 und 3.3.2 beschrieben.

### 3.2.2 Weitere Umgangsgenehmigungen

Die Verwendung von Strahlenquellen als Teil der Messeinrichtungen unterliegt gemäß § 19 AtG der staatlichen Aufsicht. Grundsätzlich ist für den Umgang mit Strahlenquellen eine Umgangsgenehmigung nach § 12 StrlSchG erforderlich, sofern

- deren Aktivität oberhalb der Freigrenzen der StrlSchV liegt (z. B. hochradioaktive Quellen in der Messeinrichtung für die Radiographie, Einrichtungen zur Dichtemessung, Gaschromatographie mit Elektroneneinfangdetektor),
- die Strahler nicht fest in bauartzugelassene Geräte eingefügt sind.

Folgende Optionen können hierbei im Rahmen der Antragsstellung in Betracht gezogen und die Vor- und Nachteile im Rahmen der Genehmigungsplanung abgewogen werden:

- a) Die Genehmigung wird separat und als eigenständige Umgangsgenehmigung beantragt, um bei ggf. erforderlichen nachträglichen Änderungen die Genehmigung zum Umgang mit den rückgeholt radioaktiven Abfällen unberührt zu lassen.
- b) Es wird eine Genehmigung ausschließlich für die bestimmungsgemäße Verwendung (Betrieb) der Messeinrichtung beantragt. Dies führt zu einem vereinfachten Genehmigungsverfahren und zu weniger Auflagen seitens der zuständigen Aufsichtsbehörde (z. B. Verzicht auf eine dosimetrische Überwachung von Mitarbeitern oder

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 51



Notwendigkeit der Errichtung eines Kontrollbereiches). Zudem können die Anforderungen an die Fachkunde der Strahlenschutzbeauftragten niedriger ausfallen.

Die genehmigte Tätigkeit beschränkt sich dann ausschließlich auf den Betrieb der Messeinrichtung. Wartungstätigkeiten, Reparaturen, Manipulationen und Veränderung dieser Messeinrichtungen dürfen nur von externen Dienstleistern mit einer entsprechenden Umgangsgenehmigung vorgenommen werden.

- c) Die zu beantragende Umgangsgenehmigung für die rückzuholenden radioaktiven Abfälle kann (ggf. auch über einen Nachtrag) den Umgang mit den Strahlenquellen in dieser bereits integrieren. Dies kann jedoch zu neuen und/oder veränderten Auflagen führen. Je nach Ausgestaltung der Genehmigung nach § 9 AtG i. V. m. § 12 StrlSchG könnten die Auflagen zum Umgang mit den rückgeholt Abfällen allerdings auch die notwendigen Auflagen von Strahlenquellen abdecken.

### 3.3 Erstellung von Nachweisunterlagen und Konzepten

Für die Errichtung und den Betrieb der Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager sind verschiedene Zulassungsvoraussetzungen erforderlich, für welche Nachweisunterlagen und Konzepte im Rahmen des Genehmigungsverfahrens einzureichen sind. Eine Übersicht der erforderlichen Unterlagen, welche voraussichtlich für das Genehmigungsverfahren einzureichen sind, kann in Anlehnung an § 3 der atomrechtlichen Verfahrensverordnung (AtVfV) sowie Anlage 2 Teil B des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) entnommen werden.

Mindestens zu erstellen sind die nachfolgenden Nachweisunterlagen und Konzepte:

- Ableitungen im bestimmungsgemäßen Betrieb und Ausbreitungsrechnungen nach §§ 99 - 101 StrlSchV,
- Störfallanalyse,
- Strahlenschutzkonzept,
- Brandschutzkonzept,
- Konzept für die freizugebenden radioaktiven Reststoffe und zu entsorgenden radioaktiven Abfälle nach § 31ff. StrlSchV (Entsorgungsziele),
- Konzept zur Sicherstellung der Unterkritikalität,
- Probenahmekonzept,
- Anlagensicherungsbericht(e) zur Objektsicherung und IT-Sicherheit.

In den nachfolgenden Kapiteln werden wesentliche Aspekte dargestellt, welche im Rahmen der Erstellung der Nachweisunterlagen und Konzepte zu berücksichtigen sind. Deren Ergebnisse werden im Sicherheitsbericht vereint, welcher somit alle für die Beurteilung des Vorhabens relevanten Informationen, Vorgehensweisen und radiologischen Bewertungen enthält.

Darüber hinaus sind Pläne, Zeichnungen und Beschreibungen, die zur Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen erforderlich sind und welche im Rahmen der Entwurfsplanung erstellt werden, in den Nachweisunterlagen und Konzepten der Genehmigungsplanung zu erstellen.

#### 3.3.1 Einhaltung von Schutzzielen und sicherheitstechnischen Anforderungen


Zum Nachweis der Einhaltung von Schutzzielen und sicherheitstechnischen Anforderungen, müssen im Rahmen der Beantragung von Umgangsgenehmigungen für die Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager Sicherheitsanalysen durchgeführt bzw. Sicherheitsnachweise für die nachfolgend beschriebenen Betriebszustände des Anlagenkomplexes unter Berücksichtigung der abdeckenden Aktivitätsabschätzung (s. Kapitel 3.3.2) erbracht werden. In dem Sicherheitsbericht sind die Störfälle bzw. Schadensereignisse sowie die hierfür vorgesehenen Schutzmaßnahmen darzustellen.

Die ESK-Leitlinie für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung [8] als untergesetzliches Regelwerk liefert hierzu folgende einzuhaltende Schutzziele:

- Sicherer Einschluss der radioaktiven Stoffe



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -
 Blatt: 52

- Vermeidung von Kritikalität
- Vermeidung unnötiger Strahlenexposition, Begrenzung und Kontrolle der Strahlenexposition des Betriebspersonals und der Bevölkerung

Aus diesen Schutzzieleiten sich u. a. die folgenden sicherheitstechnischen Anforderungen ab, welche auch im Rahmen der Charakterisierung einzuhalten sind:

- Abschirmung der ionisierenden Strahlung
- Betriebs- und instandhaltungsgerechte Auslegung und Ausführung der Einrichtungen
- Sicherheitsgerichtete Organisation und Durchführung des Betriebes
- Sichere Handhabung und sicherer Transport der radioaktiven Stoffe
- Auslegung gegen Störfälle
- Maßnahmen zur Begrenzung der Schadensauswirkungen von auslegungsüberschreitenden Ereignissen

Der Nachweis der Einhaltung von Schutzzieleiten erfolgt sowohl für den bestimmungsgemäßen Betrieb als auch für Störfälle:

Der **bestimmungsgemäße Betrieb** ist der zulässige Betrieb, für den die Anlagen, Infrastrukturen und Tätigkeiten in einem Betriebsbereich nach ihrem technischen Zweck bestimmt, ausgelegt und geeignet sind. Im bestimmungsgemäßen Betrieb muss die Einhaltung der Grenzwerte (insbesondere aus luft- und wassergetragenen Ableitungen sowie Direktstrahlung) für beruflich strahlenexponierte Personen nach § 78 StrlSchG [2] sowie für Einzelpersonen der Bevölkerung gemäß § 80 StrlSchG in Verbindung mit § 99 StrlSchV [3] sichergestellt sein. Zudem sind Langzeit-Ableitungswerte festzulegen, für welche Ableitungsgenehmigungen erforderlich sind. Die Bewertungen der Ableitungen erfolgen gemäß §§ 99 bis 102 StrlSchV und unter Anwendung der aktuellen „AVV Tätigkeiten“ [9]. Hierfür werden zur Berechnung der Strahlenbelastung der Bevölkerung in der Umgebung der Abfallbehandlungsanlage atmosphärische Ausbreitungsmodelle (Atmosphärische Radionuklid-Transport-Modelle, ARTM) erstellt. Den Quellterm hierzu stellen die zu genehmigenden Ableitungen dar.


Der bestimmungsgemäße Betrieb umfasst den Normalbetrieb, in welchem die Anlage voll funktionsfähig ist, Instandhaltungsvorgänge sowie Vorgänge, die bei Fehlfunktionen bestimmter Anlagenteile oder -systeme auftreten und aus sicherheitstechnischen Aspekten einer Fortführung des Betriebes nicht entgegenstehen (anomaler Betrieb). Auch hier ist die Einhaltung der Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen sowie für Einzelpersonen der Bevölkerung nachzuweisen und sicherzustellen.

Der Rückholplan [26] sieht zudem vor, für Ereignisse, welche aufgrund ihrer erhöhten Eintrittshäufigkeit nicht den Störfällen zugeordnet werden können, Szenarien zu beschreiben und für Szenarien mit potenzieller Freisetzung Kurzzeit-Ableitungswerte festzulegen. Diese Szenarien sind im Rahmen der Nachweisführung bei der Erstellung des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes zu definieren.

Als **Störfall** wird gem. § 1 Abs. 18 StrlSchV ein Ereignisablauf bezeichnet, bei dessen Eintreten der Betrieb der Anlage oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann.

Im Rahmen des Betriebes der Charakterisierungsanlage sind somit bauliche bzw. technische Schutzvorkehrungen gegen Störfälle zu treffen. Die Anforderungen an bauliche und technische Einrichtungen, welche die Auswirkung von Störfällen begrenzen sollen, stellt die ESK-Leitlinie für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung [8]. Dabei sind die Planungswerte des § 81 StrlSchG in Verbindung mit § 104 StrlSchV anzusetzen. Diese Schutzvorkehrungen dienen dazu, die Freisetzungen radioaktiver Stoffe in die Umgebung zu verhindern bzw. zu begrenzen.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 53

Im Rahmen der Rückholung gilt zudem als Einzelfallregelung § 57b Absatz 5 Satz 3 AtG [1] („Lex Asse“), wonach „*der Störfallplanungswert für die Planung von Rückholungs- und Stilllegungsmaßnahmen bei der Schachtanlage Asse II [...] abweichend von § 117 Absatz 16 der Strahlenschutzverordnung bis zum Inkrafttreten allgemeiner Verwaltungsvorschriften zur Störfallvorsorge nach § 50 Absatz 4 der Strahlenschutzverordnung von der Genehmigungsbehörde im Einzelfall festzulegen [ist].*“

Als Störfälle werden gemäß den ESK-Leitlinien [8] anlageninterne Ereignisse (Einwirkungen von Innen – EVI) und externe Ereignisse (Einwirkungen von außen – EVA) definiert.


Die zu betrachtenden auslösenden Ereignisse sind z. B. in ESK-Leitlinien weitgehend katalogisiert und müssen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager geprüft werden. Aus den möglichen Störfällen, welche zu gleichen Ereignisabläufen führen, werden abdeckende Störfallgruppen gebildet, die im Rahmen der Störfallanalyse zu bewerten sind. Hierbei ist für die Berechnung der potenziellen Exposition aus den abdeckenden Störfallgruppen zunächst das betroffene Aktivitätsinventar zu identifizieren und hieraus der potenziell freisetzbare Anteil zu quantifizieren. Abhängig von der Störfallart wird die freigesetzte Aktivität als Quellterm abgeschätzt. Die Expositionsrechnung erfolgt entsprechend der Vorgaben der Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) [10].

Eine Auflistung der für die Charakterisierungsanlage und zugehörige Pufferlagerung potenziellen Störfälle (EVI und EVA) ist zusammen mit den jeweiligen Maßnahmen zur Vorbeugung und/oder Beherrschung in Tab. 26 dargestellt. Diese Auflistung ist im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung in Verbindung mit der baulichen Auslegung der Abfallbehandlungsanlage abzustimmen und zu vervollständigen.

Tab. 26: Potenzielle Störfälle und geeignete, beispielhafte Maßnahmen zu deren Vorbeugung und/oder Beherrschung für die Charakterisierungsanlage und zugehörige Pufferlagerung.

Potenzieller Störfall	Beispielhafte Maßnahmen zur Vorbeugung und Beherrschung
<b>Einwirkungen von Innen</b>	
Absturz eines Containers	Begrenzung der Hubhöhe und geeignete Auslegung der Abluft- und Filteranlagen.
Brand eines Behälters mit brennbaren Mischabfällen	Bauliche Brandschutzmaßnahmen wie die Errichtung von Brandabschnitten und Auslegung der Lüftungseinrichtungen, Branddauer minimieren durch Brandmeldeanlagen, Werkfeuerwehr.
Ausfälle sicherheitstechnischer Einrichtungen und Versorgungssysteme	Festlegung von Maßnahmen und Regelungen zur Beherrschung der Störung (z. B. Überführung von Anlagen in einen automatischen sicheren (Ruhe-)Zustand bei Ausfall von Kühl- oder Leittechniksystemen, Installation von Alarmsystemen etc.).
Explosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die rückgeholt Abfälle enthalten keine explosiven Stoffe.</li> <li>Im Hinblick auf den unbekanntem Zustand und Inhalt der Gebinde ist als EVI ggf. auch zu berücksichtigen, dass im Falle von intakt geborgenen Gebinden eine Gasbildung innerhalb des Gebindes potenziell möglich ist. Wird das intakte Gebinde dann aus dem Innenbehälter entnommen und im Rahmen der Handhabung zur Charakterisierung beschädigt, kann aufgrund der Druckentlastung eine unkontrollierte Freisetzung von Aktivität im Bereich der Charakterisierungsanlage erfolgen.</li> </ul> Die Wasserstoffbildung durch Radiolyse in einem voll belegten Lagerbereich nicht behandelter Abfälle ist im Rahmen der Nachweisführung zu bewerten und hieraus ggf. Maßnahmen abzuleiten.
Leckagen, Fehlleitungen radioaktiver Stoffe	Sicherheitswannen für Behälter mit flüssigen radioaktiven Stoffen, Lüftungstechnische Trennung betrieblicher und radiologischer Abluft.
Handhabungsfehler (menschliches Fehlverhalten)	Schulung des Personals.
<b>Einwirkungen von außen</b>	
Erdbeben	Auslegung (ggf. nach KTA) von Bauwerken gegen Erdbeben
Hochwasser, Erdrutsch,	Aufgrund der Morphologie und geographischen Lage voraussichtlich



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 54

Potenzieller Störfall	Beispielhafte Maßnahmen zur Vorbeugung und Beherrschung
Sturmflut	nicht relevant.
Bergschäden	Der Einfluss von Bergschäden durch das bestehende Bergwerk ist zu überprüfen.
Sturm	Berücksichtigung der Windlasten bei der baulichen Auslegung.
Starkregenereignisse	Die bauliche Auslegung der Abfallbehandlungsanlage verhindert das Eindringen von Niederschlagswasser in das Gebäude und gewährleistet die Standsicherheit.
Blitzschlag	Ausrüstung mit Blitzschutzeinrichtung.
Flächenbrand (z. B. Waldbrand)	Bauliche Brandschutzmaßnahmen, Dicke der Außenwände, Installation von Detektions- und Warnsystemen und gasdichten Absperrklappen.
Flugzeugabsturz	Bauliche Auslegung (insbesondere der Lagerflächen), brandschutztechnische Sicherheitsvorkehrungen.
Eindring- und Innentäterszenarien	Technische und administrative Maßnahmen zur Anlagensicherung.

Durch die Wahl geeigneter technischer und organisatorischer Strahlenschutzmaßnahmen, welche im Rahmen der Erstellung eines Strahlenschutzkonzeptes (s. die Beschreibung der Anforderungen hieran in Kapitel 3.3.3) für die Abfallbehandlungsanlage darzustellen sind, ist der Nachweis zu führen, dass die relevanten Störfälle beherrschbar sind. Die Nachweisführung hat in enger Abstimmung mit der geplanten baulichen Ausführung der Abfallbehandlungsanlage im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung zu erfolgen. Diese wird mindestens gleichwertig im Vergleich zu den derzeitig bereits genehmigten baugleichen Anlagen ausgeführt. Es liegen z. B. Genehmigungen für Reststoffbehandlungszentren an KKW-Standorten oder für Entsorgungsbetriebe der KTE vor, in welchen jeweils mit gleichartigen und höheren Aktivitätsmengen, als in der Schachtanlage Asse II dokumentiert (s. Kapitel 2.1.1) offen umgegangen wird. Dort werden flüssige Abfälle oder Abfälle in fein dispergierter Form (Sägeabfälle) behandelt, welche ein hohes anlageninternes Freisetzungspotenzial bergen. Die bereits nachgewiesene Genehmigungsfähigkeit der bereits bestehenden und hinsichtlich der Art des Umgangs sowie der gehandhabten Aktivitäten vergleichbaren Abfallbehandlungsanlagen und Lagereinrichtungen zeigt grundsätzlich, dass auch für die in Tab. 1 dargestellten mittleren Aktivitäten die Störfallplanungswerte für die Abfallbehandlungsanlage nachgewiesen werden können.


Die Nachweisführung für die Abfallbehandlungsanlage und auch das Zwischenlager kann im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung daher derart ausgeführt werden, dass durch bauliche Maßnahmen und einer Anpassung der Hantierungsarten eine Freisetzung verhindert oder begrenzt wird, je nach auslösendem Ereignis (s. Tab. 26).

Eine vollständige Definition und Analyse der Störfallszenarien erfolgt im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung mit Erstellung des Sicherheits- und Nachweiskonzeptes für die gesamte Abfallbehandlungsanlage, welches gegenüber der Genehmigungsbehörde als Nachweis der Einhaltung der Sicherheit der Anlage für alle Betriebszustände des geplanten Betriebes dient.

### 3.3.2 Aspekte zur abdeckenden Aktivitätsabschätzung

Die Strahlenschutzaspekte mit den zugehörigen Berechnungen, anhand derer im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung detailliert dargelegt wird, wieviel Aktivität in den Anlagenbereichen der Abfallbehandlungsanlage vorliegen bzw. hieraus abgeleitet werden darf, sind mit der Gesamtplanung der zu errichtenden Anlage eng verzahnt. Hierbei müssen die derzeit bekannten Eigenschaften der rückzuholenden Abfälle insbesondere in Bezug auf die Aktivität, das Nuklidinventar sowie das kernbrennstoffhaltige Material (vgl. Kapitel 2.1.1 und 2.1.2) abdeckend berücksichtigt werden. Sowohl für die Abfallbehandlungsanlage als auch für das Zwischenlager sind unzulässige Ableitungen zu vermeiden, eine Begrenzung der Direktstrahlung zu gewährleisten, sowie der Nachweis zu erbringen, dass die Störfallplanungswerte (z. B. bei einem Behälterbrand) eingehalten werden (s. Kapitel 3.3.1). Als Planungsgrundlage ist daher eine auf Basis der vorhandenen Stellflächen und maximalen Stapelhöhe berechneten Anzahl an



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -										

Umverpackungen mit beladenen Innenbehältern heranzuziehen, woraus sich eine abdeckende Gesamtaktivität bzw. eine abdeckende Aktivitätsabschätzung pro Gebinde im Lagerbereich für die jeweiligen Störfallbetrachtungen ableiten lässt. Bei den Störfallbetrachtungen sollte der Quellterm (d. h. die Freisetzung von radioaktivem Material) somit abhängig vom zu unterstellenden Schadensumfang konservativ und zusammen mit einer belastbaren Unsicherheitsbetrachtung gewählt werden.

Im Hinblick auf die Ausgestaltung des Genehmigungsantrages für die Umgangsgenehmigung bezüglich der nuklidspezifischen Gesamtaktivitäten kann hierbei auf Basis der vorliegenden Informationen in der Datenbank ASSEKAT [56] von folgenden Überlegungen ausgegangen werden:


- Das in Kapitel 2.1.1 angegebene Aktivitätsinventar für die verschiedenen Abfallarten erscheint in sich plausibel. Betrachtet man die Aktivitätsverhältnisse von Schlüsselnucliden (i. W. Co-60 und Cs-137) und radiologisch für eine langzeitige Lagerung bzw. Endlagerung relevanten, schwer messbaren Nucliden (z. B. Fe-55, Ni-63, Sr-90, Am-241) unter Berücksichtigung der Zerfallskorrektur und bezieht in die Betrachtung die Abfallarten mit dem größten Aktivitätsbeitrag (Verdampferkonzentrate, Ionentauscherharze, Schlämme aus der Primärwasseraufbereitung usw.) ein, so zeigen sich gängige Werte, die mit den Aktivitätswerten in heutigen vergleichbaren Abfällen aus Kernkraftwerken übereinstimmen<sup>3</sup>.
- Vor diesem Hintergrund stellt es einen sinnvollen Ansatz dar, den Umgang mit nuklidspezifischen Aktivitäten basierend auf dem nuklidspezifischen Gesamtaktivitätsinventar gemäß Tab. 1 zu beantragen. Im Rahmen einer Bewertung der Unsicherheiten im dokumentierten Inventar (z. B. aufgrund fehlender Angaben zum radiologischen Inventar in einzelnen ELK) ist ein Faktor zu ermitteln, welcher mögliche Unsicherheiten in der Abschätzung des Aktivitätsinventars abdeckt.
- Um die Genehmigung in der Praxis flexibler handhabbar zu machen und das gesamte Inventar gleichzeitig wirksam zu begrenzen, kann erwogen werden, anstelle expliziter nuklidspezifischer Aktivitäten Summenwerte für Gruppen gleichartiger Radionuklide zu beantragen, beispielsweise
  - einen Summenwert für alphastrahlende Radionuklide,
  - einen Summenwert für betastrahlende Radionuklide mit massenbezogenen Freigrenzen von höchstens 10 Bq/g,
  - einen Summenwert für gammastrahlende Radionuklide mit massenbezogenen Freigrenzen von höchstens 10 Bq/g und
  - einen Summenwert für alle übrigen Radionuklide.

Im Hinblick auf die Umgangsgenehmigung für spaltbare Stoffe sollte von der Ausschöpfung der genehmigten Massen gemäß der Auflistung in Kapitel 2.1.3 ausgegangen werden. Das bedeutet, dass nur in einem geringen Anteil der Behälter vom Vorliegen von spaltbaren Stoffen mit nennenswerten Mengen, d. h. oberhalb der Freigrenzen von § 3 Abs. 3 StrlSchG, auszugehen ist.

Unabhängig hiervon muss jedoch die radiologische Bewertung eines unbekanntes, rückgeholten Abfallbehälters betrachtet werden. Vor dem Vorliegen einer ausreichenden radiologischen Charakterisierung (oder anderweitig begründeten Kenntnis der radiologischen Zusammensetzung) sollte grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass dieser rückgeholte Abfallbehälter Kernbrennstoff enthalten könnte. Der Umgang mit dem rückgeholten radioaktiven Abfall muss daher so gestaltet werden, dass das Schutzziel der Vermeidung von Kritikalität gem. Kapitel 3.3.1 und die Sicherstellung der Unterkritikalität gem. Kapitel 3.3.5 stets gewährleistet ist.

<sup>3)</sup> Beispielsweise ergibt sich - jeweils zum Entstehungszeitpunkt der Abfälle - für das Aktivitätsverhältnis Co-60 zu Ni-63 ein Wert in der Größenordnung 3:1, Cs-137 zu Sr-90 von 2:1, Co-60 zu Am-241 von 5:1 usw. Diese vergleichsweise hohen Anteile der schwer messbaren Radionuklide weisen nicht darauf hin, dass deren in der ASSEKAT berechnete mittlere Aktivität systematisch unterschätzt wird.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 56

### 3.3.3 Anforderungen an das Strahlenschutzkonzept

Das Strahlenschutzkonzept stellt alle Maßnahmen dar, die für eine sichere Durchführung des betrieblichen Strahlenschutzes auf Basis der geplanten Auslegung der Abfallbehandlungsanlage notwendig sind. Die Durchführung des betrieblichen Strahlenschutzes wird durch

- administrative (z. B. Begrenzung von Expositionszeiten des Personals, temporäre Absperrung von Bereichen erhöhter Dosisleistung),
- organisatorische (z. B. Erstellung von Strahlenschutzanweisungen und Regelung von Zuständigkeiten) und
- technische Maßnahmen (z. B. Einsatz von Luftfiltern, Abschirmungen, fernhantierte Technik)

bestimmt. Diese Maßnahmen stellen sicher, dass durch den Betrieb der Charakterisierungsanlage die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte der Exposition nicht überschritten werden und dass die Exposition gem. § 8 Abs. 2 StrlSchG so gering wie möglich gehalten werden kann.

Die Festlegungen des Strahlenschutzkonzepts gehen in den Sicherheitsbericht mit ein und werden mit der Strahlenschutzordnung des zu erstellenden Betriebshandbuchs verzahnt. Das Strahlenschutzkonzept ist somit Bestandteil der Unterlagen zur Nachweisführung im Rahmen der Erlangung der Umgangsgenehmigung (s. Kapitel 3.2).

Nachfolgend werden die Anforderungen an das Strahlenschutzkonzept sowie die wesentlichen Inhalte, welche dieses enthalten muss, mit Schwerpunkt auf die Raumbereiche der Charakterisierung dargestellt. Da die Anlagenbereiche der Charakterisierung und Konditionierung jedoch räumlich und systemtechnisch gemeinsam geplant werden müssen, ist das Strahlenschutzkonzept als Teil der einzureichenden Genehmigungsunterlagen im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die gesamte Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager umfassend zu erstellen.

Die nachfolgend beschriebenen Anforderungen können hierfür als Grundlage herangezogen werden und greifen bereits die konzeptionelle technische Auslegung der Charakterisierungsanlage auf, welche in den Kapiteln 4 bis 7 dargestellt wird.

#### 3.3.3.1 Aufbau und Umfang des Strahlenschutzkonzeptes

Der Umgang mit den rückgeholten radioaktiven Abfällen stellt einen Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen dar. Hierfür muss das Strahlenschutzkonzept sämtliche Maßnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung der zulässigen Kontaminationswerte und der zulässigen Werte der Ortsdosisleistung enthalten. Die Vorgaben und Regelungen bei Betriebsstörungen oder Störfällen (s. Kapitel 3.3.1), insbesondere die erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen, sind in dem zu erstellenden Betriebshandbuch für die gesamte Abfallbehandlungsanlage festzulegen.

Derartige Maßnahmen umfassen beispielsweise die Vorschrift zum Tragen geeigneter persönlicher Schutzausrüstung sowie das temporäre oder permanente Aufstellen von Abschirmungen und Einhausungen in Verbindung mit geeigneter Luftführung und Filterung sowie die temporäre oder permanente Aufstellung von Messgeräten und Einrichtung von Überwachungsmaßnahmen.

Für die im Einzelnen geplanten Behandlungsmaßnahmen für die rückgeholten Abfälle erfolgt im Strahlenschutzkonzept außerdem eine Beurteilung der Exposition des Personals anhand von standardisierten Annahmen bezüglich der Expositionszeit, der Abstände in Verbindung mit den vorgesehenen Abschirmmaßnahmen und dergleichen mehr. Wenn nötig, werden Anpassungen der Schutzvorkehrungen in das Konzept einbezogen.

Es enthält außerdem Angaben zu

- der Anlagen- und Systembeschreibung,
- den Betriebsabläufen und der Betriebsorganisation,
- der Systembeschreibung,
- den geplanten Vorsorgemaßnahmen gem. ALARA-Prinzip,

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 57



- möglichen Expositionen insbesondere für das Personal sowie
- zu der Qualitätssicherung und Dokumentation.

Die nachfolgenden Kapitel spiegeln den möglichen Aufbau und die erforderlichen Inhalte eines Strahlenschutzkonzeptes wider, welches umfassend im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Gesamtanlage zu erstellen ist, beschränken sich hier aber im Wesentlichen auf die Aspekte der Charakterisierungsanlage.

### 3.3.3.2 Anforderungen an die Strahlenschutzbereiche

Gemäß § 52 Abs. 1 StrlSchV sind Strahlenschutzbereiche einzurichten, „wenn die Exposition von Personen einen der Grenzwerte für Einzelpersonen der Bevölkerung nach § 80 Absatz 1 und 2 des Strahlenschutzgesetzes überschreiten kann“ [3]. Die Strahlenschutzbereiche dienen der Zutrittsregelung und Kontaminationskontrolle sowie zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppung.

Verantwortlich für die Einrichtung, Abgrenzung und Kennzeichnung der Strahlenschutzbereiche ist der Strahlenschutzverantwortliche.

Unterschieden wird in Überwachungsbereiche, Kontrollbereiche und Sperrbereiche (s. Abb. 9 bis Abb. 11), die Anforderungen hieran werden nachfolgend beschrieben.

#### 3.3.3.2.1 Überwachungsbereiche

Gem. § 52 Abs. 2 Nr. 1 StrlSchV ist ein Überwachungsbereich einzurichten, wenn außerhalb von Bereichen, die nicht zum Kontrollbereich gehören, „Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 1 Millisievert oder eine Organ-Äquivalentdosis von mehr als 50 Millisievert für die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel oder eine lokale Hautdosis von mehr als 50 Millisievert erhalten können“ [3].

Hierzu gehören u. a.

- alle an das Gebäude der Abfallbehandlungsanlage angrenzenden und umzäunten (Frei-)Flächen,
- Sanitäreinrichtungen innerhalb des Gebäudes,
- Büro- und Sozialräume,
- kalte Umkleieräume,
- Kantinenbereiche sowie
- Lagerbereiche für nichtradioaktive Stoffe und Betriebsmittel.

Eine genaue Zuordnung kann dann erfolgen, wenn der genaue Aufstellungsplan der Abfallbehandlungsanlage über alle Gebäudeebenen im Rahmen der Entwurfsplanung vorliegt (s. Abb. 9, Abb. 10 und Abb. 11).

#### 3.3.3.2.2 Kontrollbereiche

Gem. § 52 Abs. 2 Nr. 2 StrlSchV ist ein Kontrollbereich einzurichten, „wenn Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert oder eine Organ-Äquivalentdosis von mehr als 15 Millisievert für die Augenlinse oder 150 Millisievert für die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel oder eine lokale Hautdosis von mehr als 150 Millisievert erhalten können“ [3].

Der gesamte Arbeitsbereich innerhalb des Gebäudes der Abfallbehandlungsanlage ist als Kontrollbereich für den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen auszulegen, wobei neben dem o. g. Dosiskriterium auch praktische Erwägungen, insbesondere Minimierung der Übergänge zwischen verschiedenen Strahlenschutzbereichen, eine Rolle spielen. Der Kontrollbereich wird gestaffelt nach dem jeweiligen Kontaminationsniveau ausgelegt. Hierzu gehören:

- Schleusen
- Warte und Zugangsbereich für das Personal



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 58



- die der Charakterisierung zugehörigen Räume/Bereiche
- der Laborbereich inkl. zugehörige Lagerräume
- die Behandlungs- und Konditionierungsbereiche
- das Pufferlager und das Zwischenlager
- Büro- und Sozialräume, u. a.
  - heiße Umkleideräume
  - Technikraum
  - Erste-Hilfe-Raum
  - Flur(e)

Der Kontrollbereich muss einen zentralen und überwachten Zugangsbereich mit Vereinzelungsanlage und Kontaminationsmonitoren für Personen haben, welcher nur nach Genehmigung des Strahlenschutzpersonals passierbar ist.

Die Materialübergabe vom Außenbereich an die Abfallbehandlungsanlage erfolgt an den dafür vorgesehenen Schleusenbereichen.

### 3.3.3.2.3 Sperrbereich

Gem. § 52 Abs. 2 Nr. 3 StrlSchV ist ein Sperrbereich vorzusehen, „wenn in einem Bereich die Ortsdosisleistung höher als 3 Millisievert durch Stunde sein kann; ein Sperrbereich ist Teil des Kontrollbereichs“ [3].

Bereits unter Tage ist sicherzustellen, dass an den Außenseiten der Umverpackungen eine Oberflächendosisleistung < 2 mSv/h eingehalten wird.

Im Rahmen der Behandlung der rückgeholt Abfälle in der Abfallbehandlungsanlage kann auf Basis der derzeit vorliegenden Informationen über die maximalen Oberflächendosisleistungen (s. Kapitel 2.1.2) an einzelnen Gebinden, insbesondere aus der ELK 8a/511, nicht ausgeschlossen werden, dass Ortsdosisleistungen größer als 3 mSv/h gemessen werden können, insbesondere, wenn Gebinde geöffnet werden (Wegfall von Abschirmungen) oder wenn sich mehrere Gebinde mit hoher DL an einem Ort befinden.

Solche Abfälle werden ausschließlich fernhantiert in abgeschirmten Bereichen (Zellen) gehandhabt.

Die Kennzeichnung und Abgrenzung eines **permanenten** Sperrbereiches kann entfallen, wenn sichergestellt wird, dass sich keine beruflich exponierten Personen innerhalb der Zellen mit Dosisleistungen > 3 mSv/h an Einzelgebinden aufhalten können. Diese Bereiche können bedarfsweise als **temporäre** Sperrbereiche ausgewiesen werden, sobald sich hierin Gebinde mit Dosisleistungen > 3 mSv/h befinden. Dies ist insbesondere dann im Vorfeld planbar und einzurichten, wenn Abfälle aus der ELK 8a/511 angeliefert werden (s. Kapitel 2.1.2.2).


Für rückgeholt Abfälle aus den übrigen Einlagerungskammern ist dies bei Bedarf nach entsprechenden ODL-Messungen durchzuführen.

### 3.3.3.3 Anforderungen an die organisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen

#### 3.3.3.3.1 Strahlenschutzverantwortlicher

Der Strahlenschutzverantwortliche gemäß § 69 StrlSchG [2] nimmt alle in § 72 StrlSchG genannten Pflichten wahr.

Der Strahlenschutzverantwortliche hat für die Leitung oder Beaufsichtigung einer Tätigkeit unter seiner Verantwortung Strahlenschutzbeauftragte in der erforderlichen Anzahl zu bestellen. Gemäß § 70 StrlSchG hat „der Strahlenschutzverantwortliche [...] bei der Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten dessen Aufgaben, dessen innerbetrieblichen Entscheidungsbereich und die zur Aufgabenwahrnehmung erforderlichen Befugnisse schriftlich festzulegen [und] die Bestellung eines Strahlenschutzbeauftragten [...] der zuständigen Behörde unter Angabe der festgelegten Aufgaben und Befugnisse unverzüglich schriftlich mitzuteilen. Der Mitteilung ist die Bescheinigung über die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz beizufügen.“

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 59

### 3.3.3.3.2 Strahlenschutzbeauftragte

Die Strahlenschutzbeauftragten überwachen gemäß § 70 StrlSchG die Einhaltung der in Schutzvorschriften und der von den zuständigen Behörden erlassenen Anordnungen und Maßgaben. Die Pflichten des Strahlenschutzbeauftragten sind in § 72 Abs. 2 StrlSchG definiert.

### 3.3.3.3.3 Strahlenschutzanweisung

Gemäß § 45 Abs. 1 StrlSchV ist eine Strahlenschutzanweisung durch den Strahlenschutzverantwortlichen zu erlassen. Diese enthält alle durch das Personal zu beachtenden Strahlenschutzmaßnahmen während des Betriebs der Abfallbehandlungsanlage und des Zwischenlagers.

Hierzu zählen u. a.

- Maßnahmen zur Regelung der Organisationsstruktur und Verantwortlichkeiten,
- die Regelung des Betriebsablaufes,
- das Verhalten bei Störfällen,
- Maßnahmen zur Ermittlung der Körperdosis sowie
- die Festlegung von Dosisrichtwerten.

Sofern verschiedene Aufgaben des Strahlenschutzes durch mehrere Personen eigenverantwortlich durchgeführt werden, sind die jeweiligen Zuständigkeiten in der Strahlenschutzanweisung eindeutig darzustellen.

### 3.3.3.3.4 Unterweisungen

Das Personal, das im Kontrollbereich tätig werden soll sowie außerhalb der Kontrollbereiches mit radioaktiven Stoffen umgeht oder diese befördert, ist gemäß § 63 StrlSchV [3] vor der erstmaligen Aufnahme der Tätigkeit durch den Strahlenschutzbeauftragten (oder eine beauftragte fachkundige Person) auf die möglichen Gefahren, die mit der Arbeit im Kontrollbereich verbundenen Gesundheitsrisiken und (Strahlen-)Schutzmaßnahmen hinzuweisen. Dazu gehören insbesondere

- die für die jeweilige Beschäftigung oder Anwesenheit wesentlichen Inhalte des Strahlenschutzrechts, der Genehmigung oder Anzeige sowie der Strahlenschutzanweisung,
- die Arbeitsmethoden,
- die Erläuterung der Strahlenschutzgrundsätze mit Bezug zur ausgeübten Tätigkeit (Begrenzung der Aufenthaltszeit, Abstand halten zur Strahlenquelle, Abschirmung),
- der Hinweis auf mögliche Gefahren,
- Verbote (z. B. Essen, Trinken und Rauchen) innerhalb des Kontrollbereiches,
- der sachgemäße Gebrauch von Schutzkleidung sowie
- Maßnahmen zur Verhinderung von Kontaminationsverschleppung.

Eine Unterweisung muss mindestens einmal pro Jahr durchgeführt werden, die Teilnahme ist von jeder unterwiesenen Person zu bestätigen, über Inhalt und Zeitpunkt sind Aufzeichnungen zu führen.

### 3.3.3.4 Anforderungen an die Personenüberwachung und den Personenschutz

Die Anforderungen an die Personenüberwachung und den Personenschutz ist an den Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen auszurichten. Hier ist sicherzustellen, dass es bei Personen, welche im Kontrollbereich arbeiten, nicht zu einer Aufnahme (Inkorporation) radioaktiver Stoffe kommt. Hierfür ist im Rahmen der Genehmigungsplanung eine Abschätzung der in einem Kalenderjahr maximal möglichen inkorporierbaren Aktivität für eine beruflich strahlenexponierte Person durchzuführen. Unter Berücksichtigung der Tätigkeiten (fernhandelt oder manuell mit direktem Zugang zu offenen radioaktiven Stoffen) und jeweiligen Aufenthaltszeiten in den Bereichen mit offenen radioaktiven Stoffen, wird die potenzielle Dosis durch Inkorporation für ein Kalenderjahr ermittelt. Darauf aufbauend ist dann die Ausgestaltung der regelmäßigen



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 60



Inkorporationsüberwachung zu treffen. Art und Umfang der Überwachung sind in der „Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis“ (RiPhyko) [11] festgelegt.

#### 3.3.3.4.1 Messung und Überwachung der Personendosis

Die Messung der Personendosis erfolgt gem. § 66 StrlSchV. In Kontrollbereichen besteht für jede beruflich strahlenexponierte Person (auch Fremdpersonal) die Pflicht, das vom jeweiligen Arbeitgeber ausgegebene amtliche Personendosimeter zu tragen, welches sowohl gegenüber Gamma- als auch Neutronenstrahlung empfindlich ist.

#### 3.3.3.4.2 Kontamination und Dekontamination

##### Kontaminationsmessungen

Kontaminationsmessungen haben regelmäßig an festgelegten Stellen zu erfolgen. Sofern erforderlich, werden im Rahmen des Betriebs der Abfallbehandlungsanlage vom Strahlenschutzpersonal zusätzliche Kontaminationsmessungen durchgeführt. Zusätzliche Kontaminationsmessungen, wie z. B. die Messung der Aktivitätskonzentration in Ausscheidungsproben, können insbesondere im Rahmen des Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen erforderlich sein, sofern die Tätigkeiten nicht fernhantiert durchgeführt werden können. Die Notwendigkeit und der Umfang dieser zusätzlichen Messungen ergeben sich im Rahmen der Anlagenplanung in Verbindung mit der Festschreibung der Tätigkeiten des Personals.

In jedem Fall sind an Personen und Arbeitsgegenständen, die den Kontrollbereich verlassen, Kontaminationsmessungen mit geeigneten ortsfesten oder tragbaren Geräten vorzunehmen. Hierfür sind flächengemittelte Kontaminationswerte jeweils für Alpha-, Beta- und Gammastrahler festzulegen, für welche die gemessenen Gegenstände und Kleidung bei Unterschreitung als kontaminationsfrei gelten. Diese Werte gelten im Allgemeinen auch für das umfriedete Gelände im Außenbereich.

##### Schutzmaßnahmen und Dekontamination

Als Schutzmaßnahmen sind mindestens folgende Maßnahmen vorzusehen:

- Das Tragen von Schutzkleidung und sonstiger persönlicher Schutzausrüstung (z. B. Handschuhe, Atemschutz, Augenschutz je nach Anforderung) beim Umgang mit den rückgeholt radioaktiven Abfällen.
- Das Aufstellen von Arbeitsablaufplänen für Arbeiten mit erhöhter Kontaminationsgefahr.
- Die Abgrenzung, Kennzeichnung und ggf. Dekontamination von für das Personal permanent zugänglichen Raumbereichen, sobald die festgelegten Grenzwerte der Flächenkontamination überschritten werden. Aus betrieblichen Gründen kann der Strahlenschutzbeauftragte jedoch in bestimmten Bereichen des Kontrollbereiches eine Überschreitung der Grenzwerte zulassen, insbesondere dort, wo kein ständiger Zugang für das Personal gewährt wird (z. B. Zellen mit Fernhantierung).
- Die unverzügliche Meldung von verursachter, festgestellter oder vermuteter Kontaminationen an das Strahlenschutzpersonal.
- Die Vermeidung von Kontaminationsverschleppung oder Personenkontamination und die Überwachung deren Einhaltung (durch stationäre und tragbare Messeinrichtungen)

#### 3.3.3.4.3 Inkorporationsüberwachung.

Neben den Schutzmaßnahmen gegen die äußere Strahlenexposition sind beim Umgang mit den rückgeholt radioaktiven Abfällen auch Maßnahmen gegen die Inkorporation durch Inhalation oder Ingestion aufgrund von nicht fest anhaftender Kontaminationen sowie kontaminierten Partikeln (insbesondere alpha-Strahler) in der Atemluft zu treffen.

Diese Schutzmaßnahmen betreffen sowohl die Bereiche an Messeinrichtungen, an welchen mit offenen radioaktiven Stoffen umgegangen wird, als auch das Radionuklidlabor, in welchem mit Proben umgegangen wird (Aufschluss, Umfüllen, Messen etc.).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 61



Durch die Unterschreitung der Grenzwerte für Oberflächenkontamination in Räumen sowie auf Transport-/Messcontainern wird sichergestellt, dass das Risiko der inneren Exposition minimiert wird.

#### 3.3.3.4.4 Betriebsfremde Personen in Kontrollbereichen

Sofern betriebsfremde Personen Zugang zu den Strahlenschutzbereichen erhalten sollen, ist hierbei zwischen nicht beruflich strahlenexponierten Personen und beruflich strahlenexponierten Personen zu unterscheiden:

- Nicht beruflich strahlenexponiertes Fremdpersonal kann im Rahmen des § 55 Abs. 1 StrlSchV [2] in den Kontrollbereichen der Abfallbehandlungsanlage für begrenzte Zeit tätig werden, soweit keine akute Kontaminationsgefahr besteht. Der Strahlenschutzbeauftragte des Betreibers der Abfallbehandlungsanlage muss hierzu vor Beginn der geplanten Tätigkeit die Personendosis abschätzen.
- Beruflich strahlenexponierte Personen des Fremdpersonals, welche gem. § 25 StrlSchG [2] in der Abfallbehandlungsanlage und dem Pufferlager tätig sind, benötigen einen Strahlenpass (§ 68 StrlSchV) und eine Strahlenschutzvereinbarung zwischen der BGE und dem jeweiligen Auftragnehmer des Fremdpersonals.

Das Fremdpersonal hat neben den eigenen amtlichen Dosimetern ein vom Strahlenschutzbeauftragten der BGE bereitgestelltes, selbstablesbares Dosimeter zu tragen und erhält eine Strahlenschutzunterweisung (s. Kapitel 3.3.3.3.3).

#### 3.3.3.5 Anforderungen an die Anlagenüberwachung

Die messtechnische Überwachung in Strahlenschutzbereichen wird durch § 56 StrlSchV [3] vorgegeben. In den Kontroll- und Überwachungsbereichen der Abfallbehandlungsanlage und dem Pufferlager sind somit Arbeitsbereiche festzulegen, in welchen die Überwachung der Radioaktivität durchgeführt wird. Bei der Auswahl dieser Bereiche ist dabei zu beachten, dass die Untergrundstrahlung aus angrenzenden Bereichen so gering ist, dass die geforderten Nachweisgrenzen für die Messungen erreicht werden können. Bei der Festlegung der Raumbereiche sind dann ggf. geeignete Abschirmungen vorzusehen. Die Überwachung beinhaltet auch Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft (s. Kapitel 3.3.3.5.3) und dem Abwasser (s. Kapitel 3.3.3.5.4). Für diese Ableitungen ist jeweils eine Ableitgenehmigung erforderlich.

##### 3.3.3.5.1 Überwachung der Ortsdosis und Ortsdosisleistung

Die Überwachung der Ortsdosisleistung erfolgt mithilfe von festinstallierten sowie mobilen Messgeräten.

Die festinstallierten Messgeräte dienen der kontinuierlichen Dosisleistungsmessung und Überwachung des Betriebszustandes und sind mit Alarm- und Ausfallschwellen ausgestattet.

Es sind mindestens Aufstellungsorte vorzusehen

- an der Personenschleuse,
- an der Materialschleuse,
- vor dem Puffer- bzw. Zwischenlager,
- im Laborbereich,
- an der Förderbandmessanlage sowie
- im Bereich der Konditionierung.

Die genauen Aufstellungsorte, die Messstellenbezeichnung und Messaufgabe sowie die gemessene Strahlungsart sind im Rahmen der Anlagenplanung zu definieren.

Die mobilen Messgeräte zur Überwachung der Dosisleistung (Gamma, Neutronen) kommen an den Arbeitsplätzen (im Bereich der Messhalle sowie im Labor) zum Einsatz und sind ebenfalls mit Alarmschwellen ausgestattet.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 62



Neben dem Einsatz an festen Arbeitsbereichen im Kontrollbereich können die mobilen Messgeräte auch bei wesentlichen Änderungen an Abschirmungen, nach wesentlichen Hantierschritten von Behältern mit radioaktivem rückgeholten Abfall sowie zu Kontrollmessungen im Kontroll- und Überwachungsbereich eingesetzt werden. Zudem können durch die Hantierung der Innenbehälter (IB) die innenliegenden rückgeholten radioaktiven Abfälle verrutschen, sodass sich Änderungen der Ortsdosisleistungen an der Außenseite des Innenbehälters ergeben können.

Sofern Messgeräte innerhalb temporärer Sperrbereiche installiert werden, ist gem. § 56 Abs. 3 StrlSchV sicherzustellen, dass die Anzeige des Messgerätes auch außerhalb des Sperrbereiches erkennbar ist.

Die Messintervalle für die jeweiligen Bereiche sind zu definieren und werden in der Strahlenschutzfachanweisung festgelegt. Sämtliche Messergebnisse sind regelmäßig zu protokollieren und dem Strahlenschutzbeauftragten vorzulegen.

### 3.3.3.5.2 Überwachung der Kontamination des Arbeitsplatzes

Die Überwachung der Kontamination von festen Arbeitsplätzen erfolgt gem. § 56 StrlSchV und ist durch mobile Messgeräte sowie regelmäßige Wischtests sicherzustellen. Wischtests sind insbesondere dann durchzuführen, wenn eine Querkontamination und damit verbundene Verfälschung der Messergebnisse (z. B. an Orten der Probenaufbereitung im Labor) zu erwarten ist.

Werden temporäre Arbeitsplätze innerhalb des Kontrollbereiches eingerichtet (z. B. für Wartung, Inspektion oder Reparaturarbeiten), sind vor Beginn und während der Arbeiten die Ortsdosisleistung und Oberflächenkontamination im unmittelbaren Bereich des jeweiligen Arbeitsplatzes zu messen.

### 3.3.3.5.3 Überwachung der Raum- und Fortluft

#### Überwachung der Aktivitätskonzentration radioaktiver Stoffe in der Raumluft

Die abgeleitete Kontrollbereichsfortluft ist kontinuierlich zu überwachen und Messungen durchzuführen, welche nachzuweisen haben, dass die Ableitungsgrenzwerte für den Standort vor Einleitung in den Kamin eingehalten werden.

Die Überwachung der Aktivitätskonzentration in der Raumluft erfolgt mit Hilfe von kontinuierlich messenden Alpha-, Beta-, und Gamma-Aerosolmessstellen sowie Tritiummessstellen, welche mit Alarm- und Ausfallschwellen ausgestattet sind.

Die zu überwachenden Raumbereiche sind hierbei solche, in welchen mit einer Freisetzung von radioaktiv kontaminierten Aerosolen zu rechnen ist, d. h., in welchen die Innenbehälter geöffnet werden müssen oder mit offenen radioaktiven Stoffen im Rahmen der Analysen umgegangen wird:

- Hantierungszelle
- Heiße Zelle
- Salzgrusaufbereitung und -messung
- Laborbereich
- Konditionierungsbereiche

Zusätzlich können Luftprobensammler zum Einsatz kommen, die die aerosolgebundene Aktivität auf Filterblättern akkumulieren, welche in regelmäßigen Intervallen auf einem geeigneten Messgerät ausgewertet werden. Auf diese Weise kann die Aktivität in der Raumluft in ausgewählten Bereichen bestimmt werden, wodurch das Inkorporationsrisiko bewertet werden kann und bei Bedarf Gegenmaßnahmen zwecks Minimierung der Exposition des Personals getroffen werden können.

Der Aufstellungsort, die Messstellenbezeichnung und Messaufgabe sowie die gemessene Strahlungsart sind im Rahmen der Anlagenplanung zu definieren.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 63



### Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft

In der Abfallbehandlungsanlage fallen im bestimmungsgemäßen Betrieb Ableitungen mit der Fortluft aufgrund des Umgangs mit offenen radioaktiven Stoffen im Rahmen der Charakterisierung und Konditionierung an. Die Ableitung der Fortluft aus den Kontrollbereichen der Abfallbehandlungsanlage erfolgt gefiltert über den Fortluftkamin. Die jeweils abgeleitete Menge ist abhängig von den jeweils gewählten Verfahren in der Abfallbehandlungsanlage. Die Bewertungen dieser Ableitungen haben gemäß §§ 99 bis 102 StrlSchV [3] und unter Anwendung der aktuellen „AVV Tätigkeiten“ [9] zu erfolgen. Die maximal zulässigen Aktivitätskonzentrationen aus Strahlenschutzbereichen sind in Anlage 11, Teil D, Tabelle 6 der StrlSchV festgelegt.

Radiologisch relevante Nuklide sind hierbei Aerosole, C-14 und H-3. Die Ableitung der Nuklide C-14 und H-3 ist im Rahmen des Umgangs zu begrenzen, da diese Nuklide nicht über Filteranlagen zurückgehalten werden können.

Im Gegensatz zu C-14 und H-3 können die radioaktiven Aerosole aus der Abluft gefiltert werden, sodass hier im Falle einer erhöhten Freisetzung im Rahmen der Charakterisierung (und Konditionierung) keine Überschreitung der zulässigen Grenzwerte zu besorgen ist. Die Filtermaterialien sind nach der Messung zu sammeln und als betrieblicher radioaktiver Abfall zu entsorgen.

Für die Auslegung der Überwachung zur Ableitung von radioaktiven Stoffen mit der **Fortluft** kann die KTA 1503.1 (Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe) [20] zugrunde gelegt werden. Hierin wird festgelegt, wie die abgeleiteten radioaktiven Stoffe nach Art und Aktivität zu bestimmen sind.

Im Gegensatz zu der Planung von Einrichtungen zur Charakterisierung und Behandlung bekannter Abfallströme aus den Kernkraftwerken kann für die rückzuholenden radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II nicht ausgeschlossen werden, dass die derzeitigen Kenntnisse zum radiologischen Inventar unvollständig sind. Um diesen Unsicherheiten zu begegnen, sollten daher im Rahmen der Fortluftmessung gem. [20] für folgende radioaktive Stoffe Messstellen vorgesehen werden:

- radioaktive Edelgase,
- an Schwebstoffen gebundene radioaktive Stoffe,
- H-3,
- Alphastrahler,
- C-14,
- ggf. radioaktives Strontium.

### Technische Konzipierung der Lüftungsbereiche

Die technische Konzipierung der Lüftungsbereiche hat im Zusammenhang mit der Überwachung der Aktivitätskonzentration in Raum- und Abluft unter Berücksichtigung der


- Versorgung der Abfallbehandlungsanlage mit Außenluft,
- Auslegung der Abluftanlagen, unter Berücksichtigung der Trennung radiologischer und betrieblicher Abluft,
- Filteranlagen und Probenahme für Abluftsysteme aus dem Kontrollbereich sowie der
- Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppung

zu erfolgen.

Die für die Charakterisierungsanlage konzipierten Lüftungsbereiche mit den jeweiligen Druckstufen sind in Abb. 4, Abb. 5 und Abb. 6 dargestellt. Zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppung sind die Bereiche, in welchen mit offenen radioaktiven Abfällen umgegangen werden muss, mit dem höchsten Unterdruck zu belegen. Detaillierte Planungen der Anlagenüberwachung haben im



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 64**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Rahmen der baulichen und technischen Planung der gesamten Abfallbehandlungsanlage zu erfolgen.

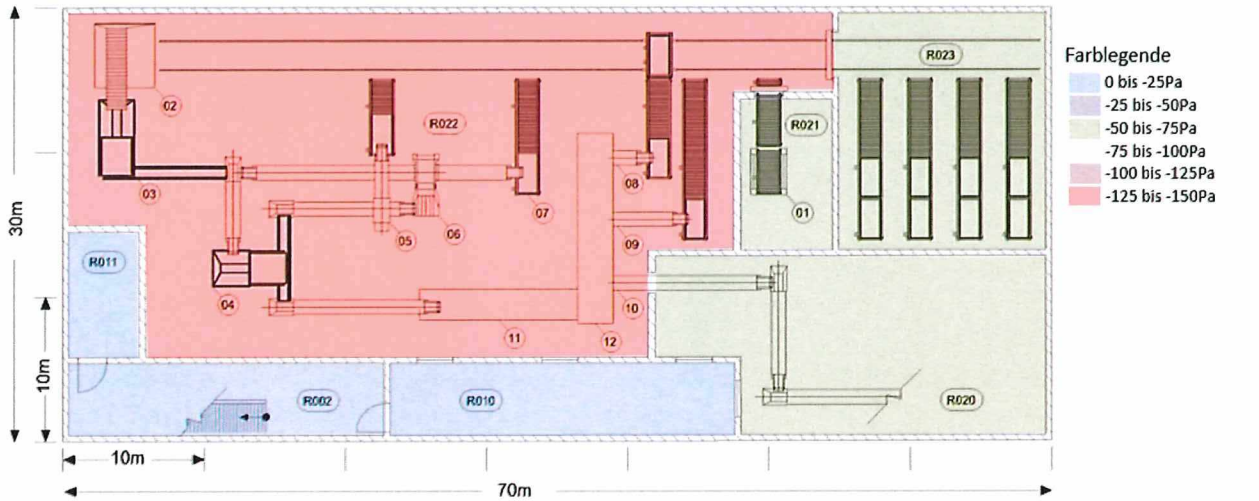


Abb. 4: Lüftungsbereiche im Untergeschoss.

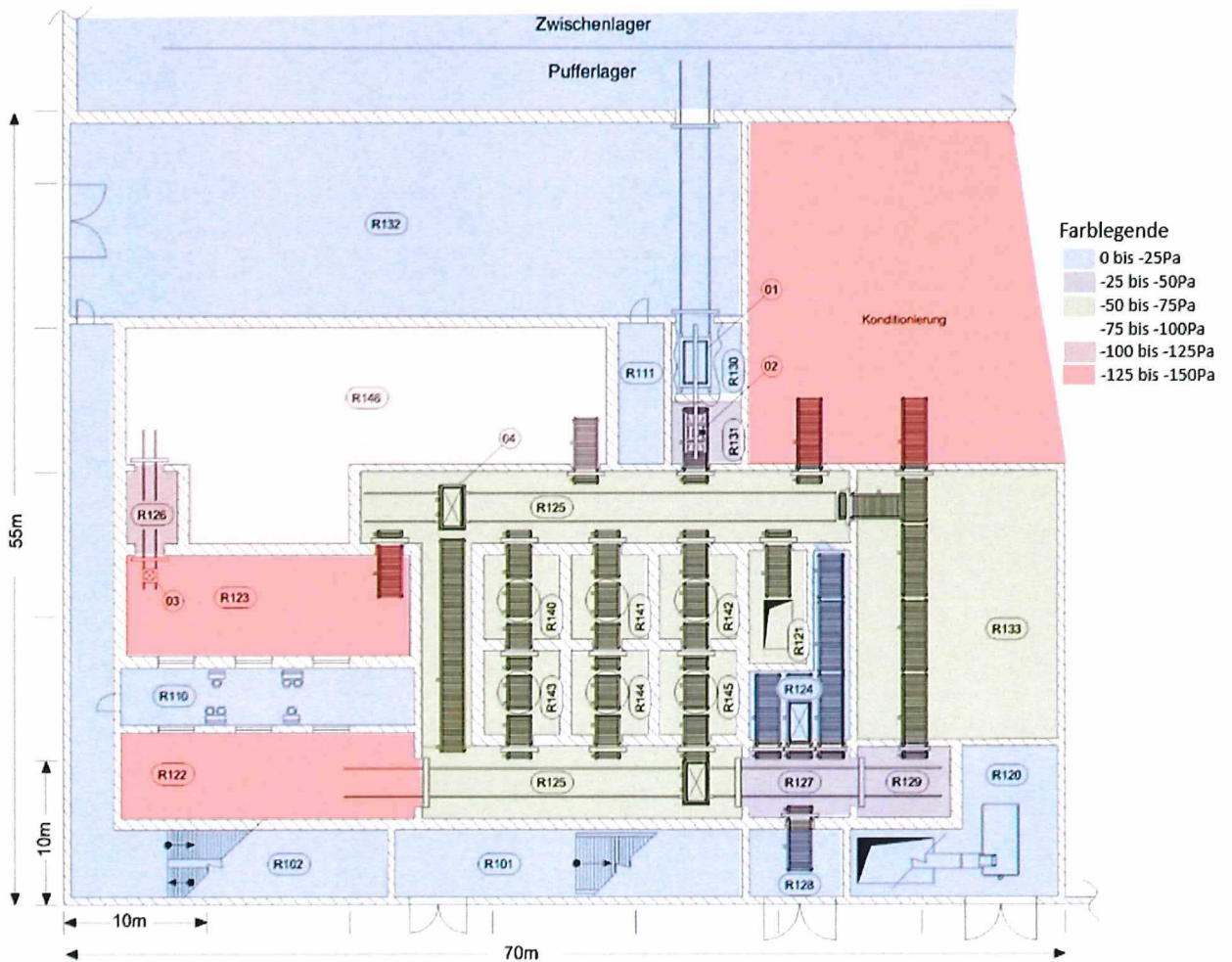


Abb. 5: Lüftungsbereiche im Erdgeschoss.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -
Blatt: 65

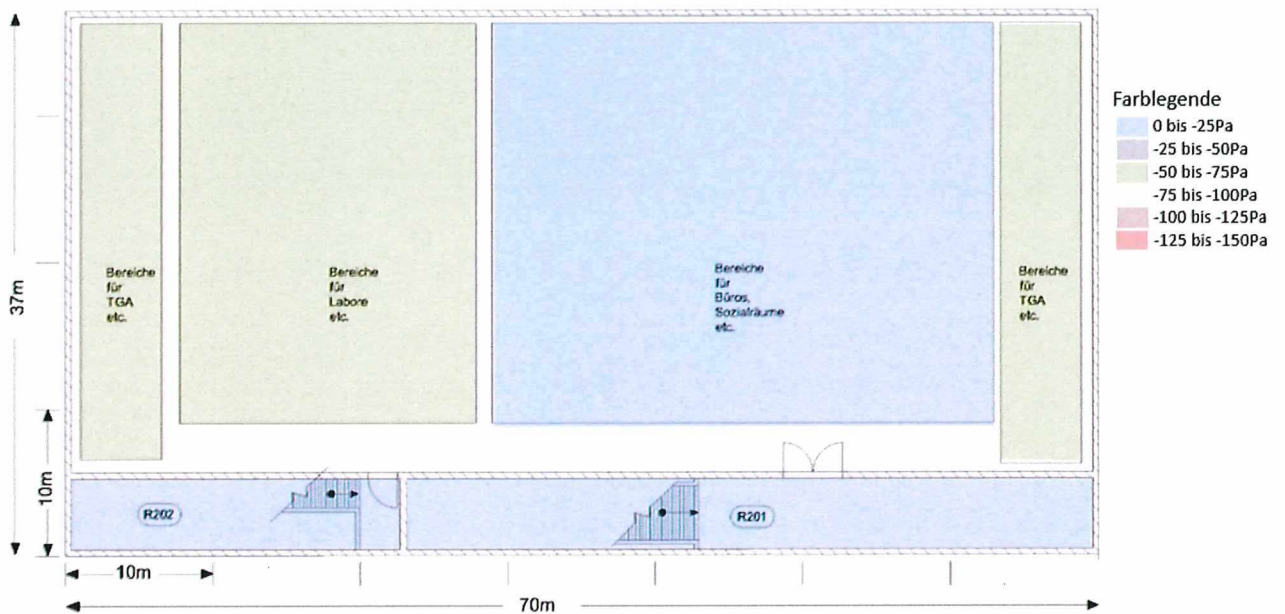


Abb. 6: Lüftungsbereiche im Obergeschoss.

#### 3.3.3.5.4 Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser

In der Abfallbehandlungsanlage können im bestimmungsgemäßen Betrieb Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser erforderlich werden. Die jeweilige Abwassermenge ist abhängig von den gewählten Charakterisierungs- und Konditionierungsverfahren. Die Bewertungen dieser Ableitungen haben gemäß §§ 99 bis 102 StrlSchV [3] zu erfolgen.

Die im Kontrollbereich anfallenden **Abwässer** werden in einen Sammeltank geleitet, gefiltert und in einen Lagerbehälter gepumpt. Das Abwasser im Lagerbehälter ist repräsentativ zu beproben (s. Kapitel 8.6.2) und anhand der Ergebnisse ist zu entscheiden, ob das Abwasser dem Abwasserkanal zugeleitet werden kann. Eine Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser ist nur zulässig, sofern die Aktivitätskonzentrationen im Abwasser, das in Abwasserkanäle geleitet werden soll, gem. Anlage 11 Teil D Tabelle 6 Spalte 3 StrlSchV nicht überschritten werden.

Bei einer Überschreitung sind die Abwässer zu sammeln, zu lagern und über deren weitere innerbetriebliche Verwendung (z. B. im Rahmen der Konditionierung zur Betonherstellung) bzw. Entsorgung zu entscheiden.

#### 3.3.3.6 Anforderungen an die Umgebungsüberwachung

Die Umgebungsüberwachung zu den Emissionen und Immissionen der Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager ist entsprechend der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) [19] durchzuführen.

Die Umgebungsüberwachung ist bereits vor Inbetriebnahme zu beginnen. Sie dient in dieser Phase der Feststellung der Umgebungsstrahlung sowie der Beweissicherung im Rahmen des späteren Betriebes. Gemäß Nr. 4.2 der REI muss eine Messung zwei Jahre vor Inbetriebnahme durchgeführt werden. Das bestehende Programm zur Umgebungsüberwachung der Schachtanlage Asse II ist dahingehend geeignet zu erweitern.

Im Rahmen des bestimmungsgemäßen Betriebes muss durch kontinuierliche Messungen der Fortluft und des Abwassers sichergestellt werden, dass die Dosisgrenzwerte gem. § 99 StrlSchV eingehalten werden. Mit einzubeziehen sind auch Untersuchungen der Ernährungskette und an Akkumulationspunkten (z. B. Gewässersedimente).

Das bereits bestehende Programm ist räumlich auszuweiten, um die Umgebung um das Gebiet der Abfallbehandlungsanlage angemessen zu umfassen. Hierfür ist ein geeignetes Messprogramm



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 66



festzulegen, das mit der baulichen und technischen Ausführung der Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager abzustimmen ist.

Die Umgebungsüberwachung muss im Fall von Stör- oder Unfällen gewährleisten, dass die Ortsdosisleistung und die Aktivitätskonzentrationen in der Luft, dem Niederschlag und auf der Bodenoberfläche gemessen werden können. Die bereits bestehende Umgebungsüberwachung der Schachtanlage Asse II ist hinsichtlich ihres Umfangs zu überprüfen und dahingehend ggf. anzupassen. Zusätzlich sind Maßnahmen zur Bestimmung der spezifischen Aktivität des Bewuchses sowie die Radionuklidkonzentrationen in Milch und Oberflächengewässer zu definieren (s. Nr. 4.4 der REI [19]).

Hierfür sind entsprechende Störfallmessprogramme zu entwickeln, welche die Maßnahmen für Messort, Probenahme und Mess- und Auswerteverfahren sowohl für die BGE als auch für unabhängige Messstellen festlegen.

### 3.3.4 Kernmaterialüberwachung gem. Euratom-Richtlinie

Für die Schachtanlage Asse II wurde eine Kernmaterialbilanzzone eingerichtet, für welche die Bilanzierung des eingelagerten Kernbrennstoffinventars im Rahmen der Jahresmeldungen an die Europäische Atomgemeinschaft (Euratom) gem. Euratom-Richtlinie 302/2005 [12] erfolgt. Gemäß der Euratom-Richtlinie kennzeichnet die Materialbilanzzone einen Bereich, der zum Zweck der Erstellung der Materialbilanz so beschaffen ist, dass die Kernmaterialmenge bei jeder Weitergabe in jede oder aus jeder Materialbilanzzone sowie der reale Bestand an Kernmaterial in jeder Materialbilanzzone, falls erforderlich, nach festgelegten Verfahren bestimmt werden kann.

In Artikel 18 der Euratom-Richtlinie 302/2005 sind in den Meldungen zum Kernmaterial Angaben zum Gesamtgewicht der Elemente Uran, Thorium und Plutonium und bei angereichertem Uran auch das Gesamt-Isotopengewicht zu diesen spaltbaren Stoffen zu treffen. Für die nachfolgenden Kernmaterialkategorien sind getrennte Buchungen in den Bestandsänderungsberichten und Aufstellungen des realen Bestandes und getrennte Materialbilanzberichte zu erstellen:

- abgereichertes Uran
- Natururan
- auf weniger als 20 % angereichertes Uran
- auf 20 % und mehr angereichertes Uran
- Plutonium
- Thorium

Die Angaben in den Jahresmeldungen zur Schachtanlage Asse II erfolgen derzeit auf Basis der in der Datenbank ASSEKAT Version 8 [55] dokumentierten Inventardaten, beruhen jedoch aufgrund der bestehenden Unsicherheiten bei der Ermittlung des Kernbrennstoffinventars auf geschätzten Werten. Diese zuletzt gemeldeten Angaben sollten bis zur Charakterisierung der rückgeholt Abfälle als Buchbestand zugrunde gelegt werden. Wird im Rahmen von Messungen und daraus abgeleiteten Schätzungen der reale Bestand ermittelt, ist dieser zusammen mit der Differenz zu dokumentieren. Zudem sind für abgereichertes Uran keine Kernmaterialbilanzzonen eingerichtet worden (vgl. Kapitel 2.1.3).

Für jeden Genehmigungsbereich (Abfallbehandlungsanlage und Zwischenlager) sollte eine Kernmaterialbilanzzone eingerichtet werden, da die Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager auch wieder zu separaten Zeitpunkten nach Beendigung der Arbeiten zurückgebaut werden. Im Zwischenlager kann ein eigenständiger Lagerbereich nur für kernbrennstoffhaltige Abfälle vorgesehen werden, sodass dann die Erstreckung im Zwischenlager auf diesen Bereich beschränkt werden kann.

Zu diesen Aspekten sollte frühzeitig eine Abstimmung mit der Euratom (den sog. „Safeguards“) erfolgen. Im Rückholplan [26] wird bereits berücksichtigt, dass Safeguards-Maßnahmen über alle Prozessschritte hinweg notwendig sind.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 67



### 3.3.5 Sicherstellung der Unterkritikalität

Die rückzuholenden radioaktiven Abfälle können geringe Mengen an spaltbarem Material enthalten (s. Kapitel 2.1.3). Somit ist die Kritikalitätssicherheit der charakterisierten und konditionierten Abfallgebinde im Zwischenlager sowie für ein zukünftiges Endlager nachzuweisen. Nach dieser Vorgabe sind für diese Abfallgebinde die Aktivitätswerte für spaltbare Stoffe (außer Natururan und abgereichertem Uran) je nach Behältertyp und Anreicherungsgrad des Urans begrenzt. Im Rahmen der Charakterisierung muss anhand der Aktivitätsbestimmung sichergestellt werden, dass durch keinen Behandlungsschritt im Rahmen der Konditionierung die Schwellwerte für die Kritikalität erreicht oder überschritten werden. Die Grundanforderungen der EBK [27] geben zudem vor, dass eine homogene Mischung der Isotope U-235 und U-238 vorliegt, so dass eine Abtrennung von U-235 nur mit Verfahren der Isotopentrennung möglich ist.

### 3.3.6 Festlegung der Entsorgungsziele

Anhand der Ergebnisse der Charakterisierung können, neben den geeigneten Konditionierungsverfahren, die möglichen Entsorgungsziele für die rückgeholtten radioaktiven Abfälle sowie die betrieblichen Abfälle festgelegt werden.

Die Beschreibung und Festlegung der Entsorgungsziele erfolgt im Rahmen der Erstellung eines Reststoff- und Abfallkonzeptes als Teil der Nachweisunterlagen im Genehmigungsverfahren. Hierin wird der Umgang mit den radioaktiven und nichtradioaktiven Reststoffen und Abfällen in den Strahlenschutzbereichen von ihrer Entstehung an berücksichtigt.

Radioaktive Abfälle sind Stoffe, die gemäß dem AtG und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) geordnet zu beseitigen sind.


In den rückgeholtten Abfällen kann jedoch auch Material enthalten sein, das so geringfügig kontaminiert ist, dass es nach Sortierung und radiologischer Charakterisierung freigegeben, wiederverwendet oder als konventioneller Abfall entsorgt werden kann. Zu beachten ist hierbei, dass die Freigabefähigkeit von Material nicht durch gezielte Vermischung hergestellt werden darf. Grundsätzlich sind für die rückgeholtten radioaktiven Abfälle sowie die betrieblichen Abfälle der Abfallbehandlungsanlage die folgenden Entsorgungs- bzw. Wiederverwendungsziele möglich:

- die Entlassung aus dem Atomgesetz (AtG) durch Freigabe (bei begründetem Kontaminationsverdacht) sowie die Herausgabe von Stoffen, bei welchen eine Kontamination plausibel auszuschließen ist (z. B. nach über Tage verbrachter Salzgrus aus der Auffahrung des Rückholbergwerkes)
- Wiederverwendung, auch im Betrieb der Abfallbehandlungsanlage
- Beseitigung als radioaktiver Abfall

Der Entscheidungsprozess zur Festlegung des geeigneten Entsorgungszieles ist zusammenfassend in Abb. 7 dargestellt. Die einzelnen Entsorgungsziele werden nachfolgend erläutert.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 68**

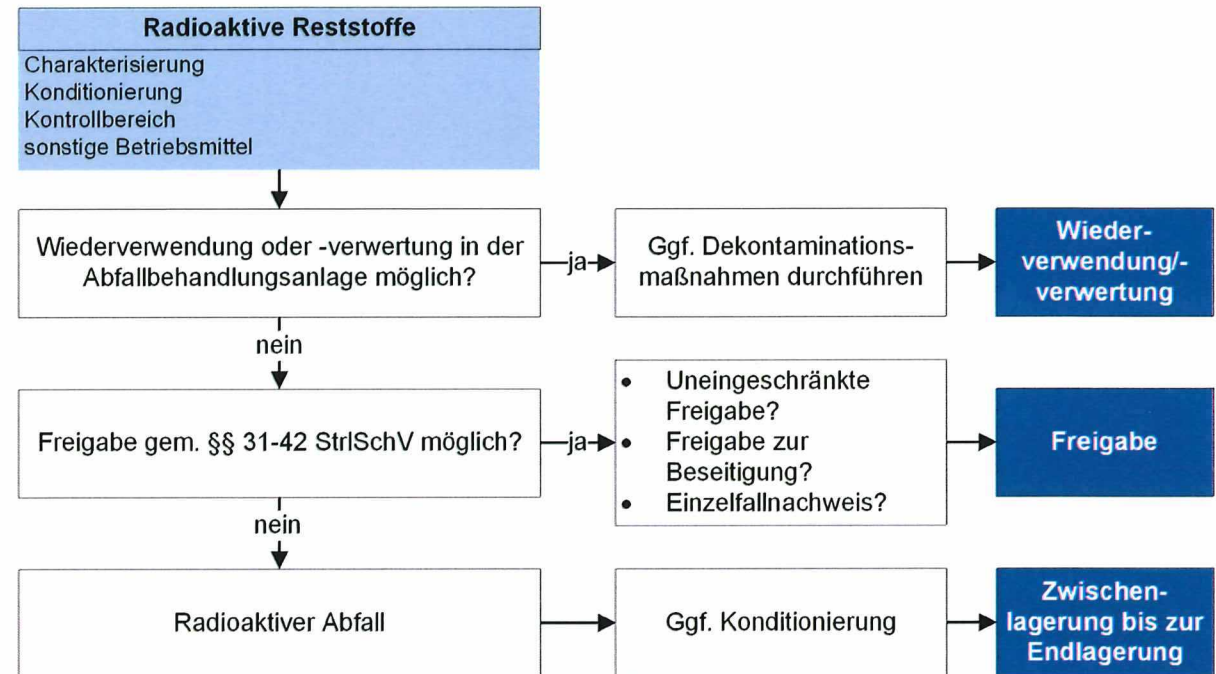


Abb. 7: Mögliche Entsorgungsziele für rückgeholte radioaktive Abfälle sowie radioaktive Reststoffe aus dem Betrieb der Abfallbehandlungsanlage.

### 3.3.6.1 Freigabe


Im Rahmen der Charakterisierung und Behandlung (z. B. bei Abtrennung freigabefähiger Anteile) der rückgeholten radioaktiven Abfälle sowie der betrieblichen radioaktiven Abfälle ist deren vollständige oder teilweise Freigabe (z. B. bei Abtrennung freigabefähiger Anteile aus dem rückgeholten radioaktiven Abfall) zu prüfen.

Die grundsätzliche Regelung in Bezug auf die Freigabe stellt die Verordnungsermächtigung in § 68 StrlSchG dar. Die Freigabe erfolgt hierbei nach den jeweils aktuell gültigen Anforderungen der StrlSchV, welche aktuell in den §§ 35 bis 37 StrlSchV i. V. m. Anlage 4 und Anlage 8 StrlSchV enthalten sind.

Eine Freigabe kann somit erfolgen, wenn der rückgeholte Abfall die in Anlage 4 Tabelle 1 zu §§ 35 bis 37 StrlSchV genannten Freigabewerte nachweislich einhalten kann und sichergestellt ist, dass bei einer Wiederverwendung oder Beseitigung die effektive Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung 10 µSv/a nicht überschreitet.

Für eine uneingeschränkte Freigabe gemäß § 35 StrlSchV ist Anlage 4 Tab. 1 Spalte 3 StrlSchV (uneingeschränkte Freigabe von festen und flüssigen Stoffen) relevant. Für feste Stoffe werden in Anlage 8 Teil B Nr. 1 StrlSchV keine Einschränkungen an weitere Nutzungen, Verwendungen, Verwertungen oder Beseitigungen für die uneingeschränkte Freigabe festgelegt.

Für die Charakterisierung und Weiterverarbeitung der Flüssigkeiten besteht ebenfalls die Möglichkeit, dass Teile davon freigegeben werden können. Während in Anlage 8 Teil B Nr. 1 StrlSchV keine Einschränkungen für die uneingeschränkte Freigabe von festen Stoffen festgelegt wird, ist die uneingeschränkte Freigabe von Flüssigkeiten gemäß Anlage 8 Teil B Nr. 2 StrlSchV nur für Öle und ölhaltige Flüssigkeiten, organische Lösungs- und Kühlmittel vorgesehen. Andere als die in Anlage 8 Teil B StrlSchV genannten flüssigen Stoffe können nur im Einzelfall nach § 37 StrlSchV uneingeschränkt freigegeben werden. Gemäß Anlage 8 Teil A Nr. 2 StrlSchV sind der Freigabe flüssiger Stoffe im Einzelfall gemäß § 37 StrlSchV, soweit sie abgeleitet werden könnten, höchstens die Werte der Anlage 11 Teil D Tabelle 6 Spalte 3 StrlSchV zugrunde zu legen. Diese Werte gelten jedoch auch für zulässige Aktivitätskonzentrationen im Abwasser, das in Abwasserkanäle eingeleitet wird. Somit gibt es für wässrige Lösungen nur folgende Entsorgungswege:

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AAANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 69

- Ableitung mit dem Abwasser, wenn die Aktivitätskonzentrationen der Anlage 11 Teil D Tabelle 6 Spalte 3 StrlSchV nicht überschritten werden oder
- Abgabe als radioaktiver Abfall.

Für eine Anlage, die nach AtG genehmigt wird, müssen Ableitungswerte beantragt und von der zuständigen Behörde genehmigt werden. Es muss hierfür ein Nachweis geführt werden (§ 100 StrlSchV), dass durch die Ableitungen der Dosisgrenzwert gemäß § 99 Abs. 1 StrlSchV eingehalten wird.

### 3.3.6.2 Wiederverwendung bzw. -verwertung

Eine Wiederverwendung bzw. -verwertung im Rahmen des Betriebs der Abfallbehandlungsanlage kann beispielsweise im Rahmen der Verwendung nicht freigebarter fester und flüssiger Abfälle als Zuschlagstoffe im Rahmen der Konditionierung (innerhalb des genehmigten Umgangs) stattfinden. Freigegebener Salzgrus kann z. B. wieder in der Schachtanlage Asse II als Verfüllmaterial unter Tage eingesetzt werden.

Weiterhin können freigegebene Metalle extern eingeschmolzen und rezykliert werden. Mineralische Abfälle, wie Bauschutt, können auch im Straßenbau oder zum Verfüllen von Abfalldeponien zum Einsatz kommen.

### 3.3.6.3 Beseitigung als radioaktiver Abfall

Wenn eine Wiederverwendung bzw. -verwertung eines radioaktiven Reststoffes (innerhalb des genehmigten Umgangs) nicht möglich, nicht sinnvoll bzw. nicht wirtschaftlich und eine Entlassung aus dem Geltungsbereich der StrlSchV nicht möglich ist, ist eine geordnete Beseitigung als radioaktiver Abfall vorzusehen. Der radioaktive Abfall ist dann ggf. zunächst zu konditionieren und bis zur Endlagerung in ein Zwischenlager zu verbringen. Die hierfür zu erfüllenden Anforderungen an die radioaktiven Abfälle werden insbesondere in den Leitlinien zur Zwischenlagerung, den jeweiligen Annahmebedingungen des Zwischenlagers sowie den gültigen Endlagerungsbedingungen (zunächst ersatzweise die Endlagerungsbedingungen Konrad [27]) festgelegt.

### 3.3.7 Dokumentation der Messergebnisse und Nachweise

Zur Belegung der endlagerrelevanten Eigenschaften der rückzuholenden radioaktiven Abfälle sind sämtliche Messergebnisse und Nachweise aus der Charakterisierung nach den Anforderungen der geltenden Endlagerungsbedingungen zu dokumentieren. Die Endlagerungsbedingungen Konrad [27] können hierbei ersatzweise zur Ableitung der Vorgaben herangezogen werden. Diese Vorgaben umfassen hinsichtlich der Abfalleigenschaften Angaben zu

- dem Radionuklidinventar,
- der stofflichen Zusammensetzung,
- Abfallmasse und -volumen,
- dem verwendeten Behälter,
- der qualifizierten Verarbeitung des radioaktiven Abfalls,
- der Stabilität des Abfallproduktes sowie
- der Ortsdosisleistung und Oberflächenkontamination an der Außenseite der Umverpackung.


In den Endlagerungsbedingungen [27] und Produktkontrollmaßnahmen [28], [29] für das Endlager Konrad sind auch Angaben zu Aufbau und Inhalt einer Abfallgebindedokumentation enthalten.

Die Vorgaben, nach welchen sich die Dokumentation richten sollte, sind zudem auch in den folgenden Dokumenten enthalten:

- Anlage zur atomrechtlichen Entsorgungsverordnung (AtEV) [14]
- Bekanntmachung der Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht an eine Landessammelstelle abgeliefert werden [6]



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 70**

- ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung [7]

Die Dokumentation der Messergebnisse ist für den gesamten Rückholprozess zu planen und auf die verschiedenen Anforderungen der Schnittstellen unter und über Tage abzustimmen. Eine schematische Übersicht über die zu dokumentierenden Angaben an den verschiedenen Stationen von der Einlagerungskammer bis zum Zwischenlager oder der Freigabe ist in der nachfolgenden Abb. 8 dargestellt. Diese Übersicht ist im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanungen in Verbindung mit der Auslegung der Konditionierungsanlage und dem Puffer- bzw. Zwischenlager im Detail anzupassen.

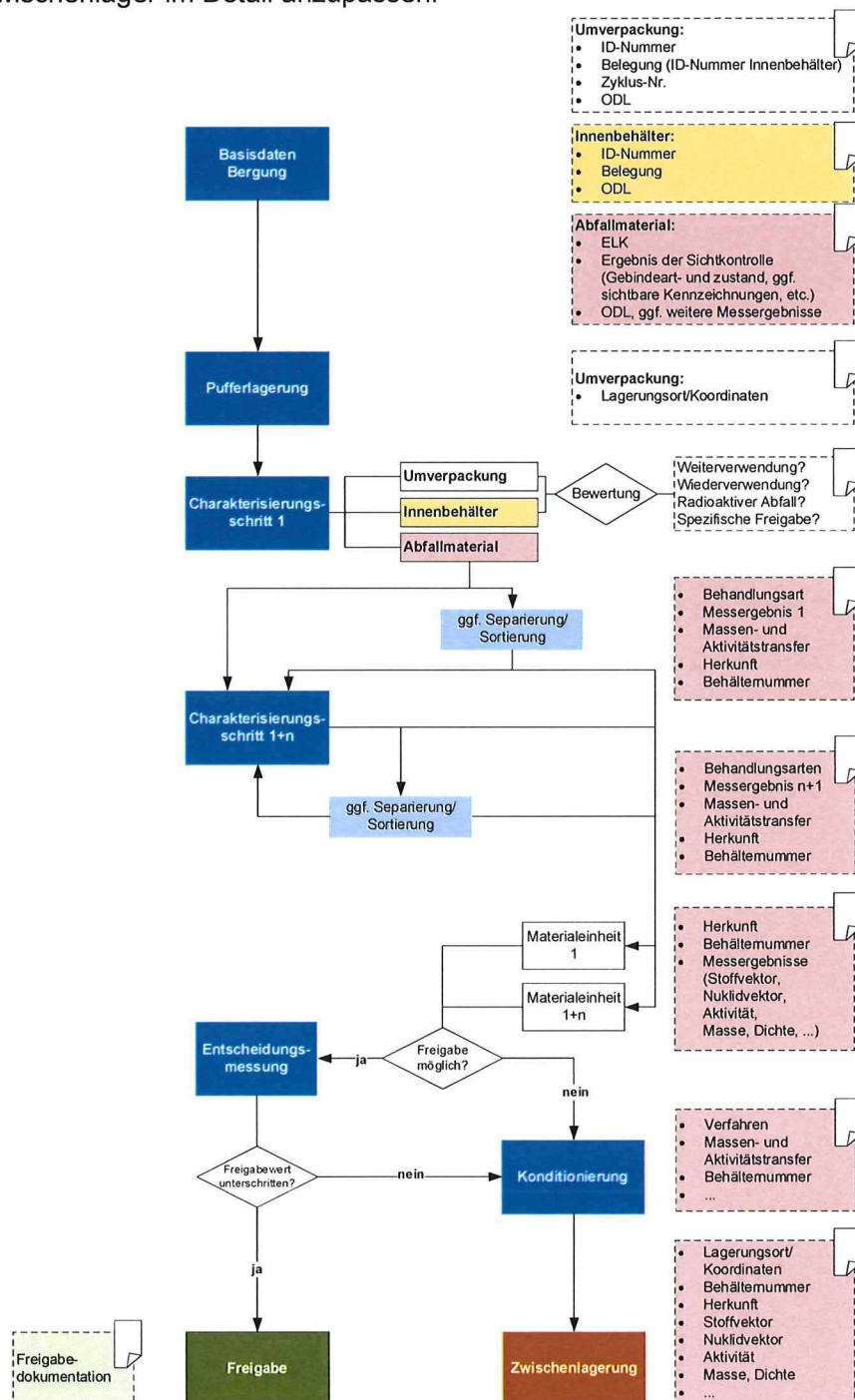


Abb. 8: Übersicht und Ablaufplan der zu dokumentierenden Angaben zu den rückzuholenden radioaktiven Abfällen für die Entsorgungsziele Freigabe bzw. Zwischenlagerung zur Endlagerung.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 71




Die Dokumentation erfolgt daher stufenweise und jeweils angepasst an die bereits durchgeführten bzw. geplanten Charakterisierungs- bzw. Behandlungsschritte:

1. Rückholung und Anlieferung an Abfallbehandlungsanlage:  
Bereits im Rahmen der Rückholung sind sämtliche Informationen (aus Sichtprüfungen, Messungen) über die rückgeholten Abfälle zu dokumentieren. Die Zuordnung der Informationen erfolgt hierbei über die eindeutigen ID-Nummern der jeweiligen Innenbehälter, in welche die rückgeholten Abfälle gefüllt werden. Diesen werden wiederum die ID-Nummern der jeweiligen Umverpackungen zugeordnet, sodass bei Anlieferung an die Abfallbehandlungsanlage bzw. an das Pufferlager die Informationen über die darin enthaltenen rückgeholten Abfälle bereits vor Entladung der Umverpackungen abrufbar sind und hiernach die nächsten Schritte geplant werden können. Wesentliche Informationen, welche bis zur Anlieferung dokumentiert werden sollten, sind in Tab. 27 aufgeführt.

Tab. 27: Angaben zur Beschreibung der rückgeholten Abfälle zur Anlieferung an die Abfallbehandlungsanlage.

Feld	Beschreibung
ID-Nummer Umverpackung	eindeutige ID-Nummer
ID-Nummer Innenbehälter	eindeutige ID-Nummer
Herkunft	Einlagerungskammer, betrieblicher Abfall
aktueller Lagerort	Gebäudenummer, Stellplatznummer
Status	in Rückholung, nicht/teilweise/vollständig vorbehandelt nicht/teilweise/vollständig charakterisiert, Auswertung ausstehend/abgeschlossen, nicht/teilweise/vollständig konditioniert
Zustand der rückgeholten Abfälle	fest, Haufwerk, flüssig, lose/verpackt, ursprünglich eingelagerter Behältertyp, VBA, Sondergebinde
Angaben zur Abfallart/stofflichen Zusammensetzung	(sofern bereits möglich) Code in Anlehnung an Tabelle 3 in der Anlage zur AtEV [14]
Art der Umverpackung	Typ, Abmessung, Leer-Gewicht, Abfallbehälterklasse
Art des Innenbehälters	Typ, Abmessung, Leer-Gewicht
Abfallmasse	netto/brutto (Gesamtgewicht abzüglich Umverpackung und Innenbehälter)
mittlere Abfalldichte	(berechnet aus Volumen IB und Abfallmasse)
Dosisleistungsmessung an Umverpackung	an der Oberfläche, in 1 m Abstand, Bezugsdatum der Dosisleistung erforderliche Maßnahme(n) zum Strahlenschutz
Kontaminationsmessung an Umverpackung	Messergebnis erforderliche Maßnahme(n) zum Strahlenschutz/Vermeidung der Kontaminationsverschleppung Bezugsdatum
Dosisleistungsmessung an Innenbehälter	an der Oberfläche, in 1 m Abstand, Bezugsdatum der Dosisleistung erforderliche Maßnahme(n) zum Strahlenschutz
Kontaminationsmessung an Innenbehälter	Messergebnis erforderliche Maßnahme(n) zum Strahlenschutz/Vermeidung der Kontaminationsverschleppung Bezugsdatum
Vorbehandlung erforderlich	(sofern bereits möglich) Auflistung notwendiger Vorbehandlungsschritte zur Charakterisierung
Charakterisierungsverfahren geplant	(sofern bereits möglich) Auflistung geplanter Charakterisierungsschritte
Konditionierungsverfahren geplant	(sofern bereits möglich) Auflistung geplanter Konditionierungsschritte (Code gem. Tabelle 4, AtEV [14])



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -


Blatt: 72

2. Dokumentation der Prozessschritte in der Abfallbehandlungsanlage:  
 Die Ergebnisse der Messungen und Probenahme sowie die zu den (Teil-)Konditionierungsschritten zu dokumentierenden Daten sind vorab nach Art und Umfang in geeigneter Form festzulegen [7] und eindeutig und nachvollziehbar zu dokumentieren.  
 Wenn charakterisierte radioaktive Abfälle bzw. betriebliche Reststoffe auf Basis der Messergebnisse radiologisch vergleichbar sind und die Unterschiede in den Materialeigenschaften keinen störenden Einfluss auf die weiteren Bearbeitungs- und Behandlungsschritte bzw. auf angestrebte Entsorgungsziele haben, können aus bestehenden Gebinden neue Gebinde (Cluster) gebildet werden (s. Kapitel 8.5). Die Zuordnung der neuen Gebinde zu den Ursprungsgebinden wird dann über eine Vorgänger-Nachfolger-Beziehung dokumentiert. Die entsprechenden charakteristischen Daten der neu entstandenen Gebinde müssen über diese Vorgänger-Nachfolger-Beziehung abrufbar sein.  
 Wesentliche Informationen, welche zusätzlich zu den Angaben in Tab. 27 die Prozessschritte in der Abfallbehandlungsanlage dokumentieren, sind in Tab. 28 aufgeführt.

Tab. 28: Dokumentation der Prozessschritte in der Abfallbehandlungsanlage.

Feld	Beschreibung
[Fortsetzung und Aktualisierung der Angaben in Tab. 27]. Zusätzlich:	
Verfahren zur Vorbehandlung	Durchgeführt/geplant
Charakterisierungsverfahren	Durchgeführt/geplant
Konditionierungsverfahren	Durchgeführt/geplant
Nuklidvektor und Aktivitäten	Einzelnuklide, Alpha-, Beta-, Gamma-Gesamtaktivität, Spaltbare Stoffe, Datum der Messung Art der Berechnung/Ermittlung
Stoffvektor	Zusammensetzung Bewertung zu chemotoxischen Stoffen Art der Berechnung/Ermittlung
Zuordnung zu Cluster	ja/nein Bezeichnung des Clusters
Vorgänger-Nachfolger	bei Aufteilung der rückgeholtten Abfälle im Rahmen der Vorbehandlung
Verpackung der Abfallprodukte	Behältertyp Brutto-Gewicht Nettovolumen Endlagerbehälter-Typ (geplant) Abfallbehälterklasse (geplant)
Vorgesehenes Entsorgungsziel	Herausgabe Freigabe Wiederverwendung (innerbetrieblich) Endlagerung

3. Übergabe der charakterisierten und konditionierten Abfälle an das Zwischenlager:  
 Sobald die radioaktiven Abfälle in ein Zwischenlager eingelagert werden, müssen der Dokumentation die wesentlichen Daten zu den Abfallprodukten, Abfallgebinden und Großkomponenten, zur Abfallherkunft sowie auch zum Zweck des weiteren Umgangs zu entnehmen sein [7].  
 Für freigemessene oder herausgegebene Abfälle, welche nicht in das Zwischenlager verbracht werden müssen, sind die Ergebnisse der Freigabedokumentation bzw. der Herausgabe zu dokumentieren.  
 Wesentliche Informationen, welche zur Übergabe an das Zwischenlager für radioaktive Abfälle zu dokumentieren sind, sind in Tab. 29 aufgeführt.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 73

Tab. 29: Mindestens erforderliche Angaben zur Beschreibung der rückgeholten charakterisierten und konditionierten Abfälle zur Übergabe an das Zwischenlager.

Feld	Beschreibung
ID-Nummer Umverpackung	eindeutige ID-Nummer
ID-Nummer Innenbehälter	eindeutige ID-Nummer
Lagerort im Zwischenlager	Stellplatznummer
Aktivitäten	Einzelnuclide, Alpha-, Beta-, Gamma-Gesamtaktivität, Spaltbare Stoffe, Datum der Messung/Berechnung
Dosisleistungsmessung an Umverpackung	an der Oberfläche, in 1 m Abstand, Bezugsdatum der Dosisleistung
Kontaminationsmessung an Umverpackung	Messergebnis Bezugsdatum
Angaben zur (konditionierten) Abfallart	Abfallart/Abfallprodukt/Abfallproduktgruppe
Verarbeitungszustand	Code gem. Tabelle 4, AtEV [14]
Verpackung	Behältertyp Brutto-Gewicht Nettovolumen Endlagerbehälter-Typ (geplant) Abfallbehälterklasse (geplant) Behälterzulassung
Endlager-Parameter	(gem. den geltenden Endlagerungsbedingungen) Abfallproduktgruppe Störfallsummenwert
Transportgrenzwerte	Angaben zu Transportgrenzwerten
Nachkonditionierung geplant	Angabe Ja/ Nein Angabe zur Art der geplanten Nachkonditionierung
Zur Produktkontrolle angemeldet	Angabe Ja/ Nein
Einlagerungsdatum	Zeitpunkt der Einlagerung in das Zwischenlager

Die Dokumentation der rückgeholten Abfälle sowie auch der betrieblichen radioaktiven Abfälle muss sicherstellen, dass für deren Bewertung zum weiteren Umgang ausreichend Informationen vorliegen (z. B. für eine Freigabe oder Deklaration als radioaktiver Abfall zur Einlagerung in ein Zwischenlager). Aus der Dokumentation muss auch hervorgehen, welche Gefährdungen von den radioaktiven Abfällen ausgehen.

Es muss zudem dargelegt werden, wie die Dokumentation gesichert erfolgen und dauerhaft zugänglich sowohl in Papierform als auch elektronisch bereitgehalten werden kann [7].

Betriebsrelevante Dokumente, wie zum Beispiel das Betriebshandbuch, sind – in Anlehnung an die Vorgehensweise in Kernkraftwerken – neben der elektronischen Form auch in Papierform auf dem Betriebsgelände und bei der Behörde dauerhaft aufzubewahren.

Die Ergebnisse der Messungen und Nachweise sind ebenfalls eindeutig und dauerhaft zu dokumentieren. Zur Aufbewahrung von Messprotokolle bietet sich jedoch ein abgestuftes Vorgehen an, um der Wichtigkeit der Dokumente Rechnung zu tragen. Beispielsweise sind Einzelschritte, welche zu dem Ergebnis geführt haben, nicht dauerhaft aufzubewahren.

Das Dokumentationssystem sollte somit mindestens die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Lückenlose Verfolgung des Materialflusses der rückgeholten Abfälle vom Entstehungsort bis zum Zielort
- Aufnahme der Daten in ein elektronisches Buchführungssystem zur Dokumentation des Massen- und Aktivitätstransfers (für Reststoff- und Endlagerfluss)
- Erkennung und Meldung einer Überschreitung sicherheitstechnisch relevanter Parameter
- Erstellung der Freigabedokumentation
- Herausgabe von nichtradioaktiven Stoffen aus der atomrechtlichen Überwachung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuziehenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 74



- Erstellung der Endlagerdokumentation
- Erstellung von Mitteilungen an die Aufsichtsbehörde

Hierfür ist es notwendig, eine genaue Begriffsdefinition für die verschiedenen zu dokumentierenden Materialströme und -einheiten zu etablieren. Kommerzielle Produkte, wie z. B. ReVK, geben hierfür schon Bezeichnungen vor.

### 3.3.8 Anforderungen an Meldungen gem. AtSMV

Gemäß § 6 der atomrechtlichen Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung (AtSMV) [23] sind den Behörden sicherheitstechnisch relevante Vorkommnisse in nach §§ 7 und 9b AtG zugelassenen Anlagen, im Zusammenhang mit der Aufbewahrung nach § 6 AtG sowie im Zusammenhang mit nach § 9 AtG und nach § 12 Abs. 1 Nr. 3 StriSchG genehmigten Tätigkeiten zu melden.

Anlage 7 der AtSMV enthält die Meldekriterien für meldepflichtige Ereignisse in nach § 9b des Atomgesetzes zugelassenen Anlagen und der Schachtanlage Asse II, welche auch den Umgang bei der Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II umfassen. Zu folgenden Aspekten werden hierin jeweils Meldekriterien genannt:

#### 1. Radiologie und Strahlenschutz

- 1.1 Ableitung radioaktiver Stoffe
- 1.2 Freisetzung radioaktiver Stoffe
- 1.3 Kontamination
- 1.4 Verschleppung radioaktiver Stoffe
- 1.5 Strahlenschutz von Personen

#### 2. Technik und Betrieb

- 2.1 Funktionsstörungen, Schäden oder Ausfälle in sicherheitstechnisch wichtigen Systemen oder Einrichtungen
- 2.2 Sonstige meldepflichtige Ereignisse, so dass ein bestimmungsgemäßer Anlagenbetrieb nicht weitergeführt werden kann oder es zu einer Betriebsunterbrechung der Anlage oder einer Teilanlage gekommen ist oder kommen kann

#### 3. Einwirkungen von außen und interne Ereignisse

- 3.1 Einwirkungen von außen
- 3.2 Anlageninterne Ereignisse

Die unter diesen Aspekten genannten Meldekriterien sind für die Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager hinsichtlich ihrer Relevanz zunächst zu bewerten.

Gemäß AtSMV sind die Meldekriterien zudem auf Grundlage einer ersten Einschätzung der Ereignisursache einer Meldekategorie zuzuordnen. Durch die Einteilung in eine der Meldekategorien wird es der Aufsichtsbehörde ermöglicht, auch vor einer vertieften Prüfung eines meldepflichtigen Ereignisses vorsorgliche Maßnahmen treffen zu können:

In Anlage 7 der AtSMV wurden die Meldekriterien bereits in jeweils eine dieser Kategorien, mit Ausnahme der Kategorie V, eingeteilt. Die Kategorie V war im bisherigen untertägigen Betrieb der bestehenden Anlage nicht relevant. Im Rahmen der Neuerrichtung der Abfallbehandlungsanlage ist daher zu prüfen, welche Ereignisse einer Kategorie V zugeordnet werden müssen.

Zusätzlich hat durch die BGE als Betreiberin der Abfallbehandlungsanlage auch eine Einstufung der meldepflichtigen Ereignisse nach der *International Nuclear Event Scale (INES)*-Bewertungsskala der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) zu erfolgen. Diese Einstufung ist zusammen mit der AtSMV-Meldung zu melden. Die Richtigkeit der INES-Einstufung wird durch einen vom BMUV benannten INES-Officer (derzeit ein Mitarbeiter der Gesellschaft für

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 75



Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH überprüft, welcher zusammen mit dem BMUV die endgültige Entscheidung über die Klassifizierung trifft.

Die Meldekriterien für die meldepflichtigen Ereignisse, die Abläufe des internen und externen Meldeablaufes sowie zu verwendende Meldeformulare sind in einer Meldeordnung für die Abfallbehandlungsanlage zu dokumentieren. Diese regelt die Verfahrensweise bei meldepflichtigen Ereignissen im Zusammenhang mit der Charakterisierung, Konditionierung und Lagerung radioaktiver Stoffe aus der Schachtanlage Asse II und ist verbindlich für die Meldungen der BGE an die Aufsichtsbehörde (BASE).

### 3.3.9 Anforderungen an den Anlagensicherungsbericht

Zur Erlangung der Genehmigung nach § 6 oder § 9 AtG [1] ist gem. § 6 Abs. 2 Nr. 4 AtG ein Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) gemäß der „Richtlinie zur Sicherung von Zwischenlagern gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter“ (SEWD-Richtlinie Zwischenlager, *Verschlusssache*) [21] erforderlich.

In dem Anlagensicherungsbericht, welcher einen Bestandteil der Genehmigung darstellt, wird das Sicherungskonzept dargelegt, welches die erforderlichen Sicherungsmaßnahmen gegen Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen enthält. Störmaßnahmen und sonstige Einwirkungen Dritter stellen hierbei z. B. Diebstahl, Sabotage oder Terrorismus dar.

Die „Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge von Störmaßnahmen oder sonstigen Einwirkungen Dritter (SEWD) auf kerntechnische Anlagen und Einrichtungen“ (SEWD-Berechnungsgrundlage) [22] ist im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für die Ermittlung der Strahlenexposition in der Umgebung der Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager nach einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Atmosphäre als Folge der zu unterstellenden SEWD heranzuziehen. Diese Berechnung dient dem Nachweis, dass die Freisetzung einer erheblichen Menge radioaktiver Stoffe bei SEWD in die Umgebung verhindert wird. Betrachtungsorte (Aufpunkte) sind hierbei die nächstgelegenen betriebsfremden Arbeitsstätten sowie Wohnbebauungen.

### 3.4 Anforderungen der Konditionierung an die Charakterisierung

Die im Rahmen der Abfallcharakterisierung ermittelten Eigenschaften der Abfälle sollten dahingehend festgelegt werden, dass sich anhand dieser Daten geeignete Konditionierungsverfahren auswählen lassen. Dies betrifft insbesondere die zu messenden physikalischen Eigenschaften der Abfälle wie z. B. Dichte, Materialverteilung, Kompressibilität und Wassergehalt/Restfeuchte, aber auch die stoffliche Zusammensetzung, welche im Wesentlichen abhängig sind von den stofflichen Eigenschaften der Abfälle und den ursprünglich eingesetzten Fixierungs- und Konditionierungsmaterialien sowie von der Behälterart (VBA, Fass, vgl. Kapitel 2.2).

Die Konditionierung dient der Erzeugung von transport- und zwischen- bzw. endlagerfähigen Produkten. In den Endlagerungsbedingungen Konrad (EBK) [27] wird vorgegeben, dass die Abfälle


- in fester Form vorliegen müssen,
- nicht faulen oder gären und
- keine Flüssigkeiten oder Gase (bis auf sinnvoll erreichbare bzw. nicht vermeidbare Restgehalte) enthalten dürfen.

Um die rückgeholten Abfälle sachgerecht konditionieren zu können, ist es ggf. notwendig, diese zunächst folgenden Behandlungsverfahren zu unterziehen:

- Verpacken bzw. Umverpacken:  
Notwendig, wenn die Integrität des rückgeholten Behälters nicht nachgewiesen werden kann oder lose Abfälle vorliegen.
- Zerkleinern, Zerlegen:  
Verfahren zur Volumenreduktion, insbesondere geeignet für sperrige Abfälle.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 76
--	-----------

Um die Anforderungen an die Abfalleigenschaften zu erfüllen und transport- und (end)lagerfähige Abfallprodukte zu erhalten, können, in Abhängigkeit der rückgeholtten Abfallart (s. Kapitel 2.2), folgende Verfahren zum Einsatz kommen:

- **Trocknen:**  
Entzug von (Rest-)Flüssigkeiten aus dem Abfallmaterial, wie z. B. Verdampferkonzentrate.
- **Verbrennen:**  
Verfahren zur Volumenreduktion, kein Faulen oder Gären mehr möglich.
- **Zementieren:**  
Verfahren zur Verfestigung der Abfälle, insbesondere flüssige (Sekundär-)Abfälle, Harze oder Schüttgüter.
- **Verpressen (Hochdruckkompaktierung):**  
Verfahren zur Volumenreduzierung, geeignet für nicht bereits verpresste Schrotte und Strukturteile, Isoliermaterial, trockene oder im Vorfeld getrocknete lose/halbverfestigte Mischabfälle, Schlacken oder Aschen.

Insbesondere die Hochdruckkompaktierung von Abfällen war während der Einlagerungszeit kein allgemein übliches Verfahren. Nach aktuellem Stand der Technik ist dies jedoch eine wichtige Konditionierungsmaßnahme zur Volumenreduktion in der modernen Abfallbehandlung. Durch heute verwendete Kartuschen (Pressfässer), die nach dem Verpressen in 200-l-Fässer eingelegt werden können, besteht die Gefahr des nachträglichen Aufplatzens des Presslings praktisch nicht mehr.

### 3.5 Anforderungen der Puffer- und Zwischenlagerung an die Charakterisierung

Im Betrieb muss sichergestellt werden, dass die Oberflächenkontamination und die Ortsdosisleistung (ODL) an der Außenseite der Container vor der Pufferlagerung gemessen worden sind, um eine erhöhte Strahlenexposition des Personals und Kontaminationsverschleppung zu vermeiden. Die zugehörigen Strahlenschutzmessungen sind somit mindestens im Rahmen der Ein- und Ausschleusung aus der Charakterisierungsanlage bzw. der Einschleusung in ein Pufferlager sowie das Zwischenlager vorzusehen.

Für rückgeholtte Abfälle, welche von unter Tage an die Abfallbehandlungsanlage geliefert und im Rahmen der Auslastungsplanung nicht direkt der Charakterisierung zugeführt werden können liegen zunächst nur die gemessenen ODL-Werte und Ergebnisse der Wischttests an der Außenseite der Umverpackung zur Kontaminationskontrolle vor. Diese Werte sind daher heranzuziehen, um im Rahmen der Handhabung der Umverpackungen eine erhöhte Strahlenexposition des Personals und Kontaminationsverschleppungen zu vermeiden.

Im Rahmen der Belegung der Pufferlagerplätze können durch Kenntnis der ODL zudem die Selbstabschirmungseffekte der Behälter maximal ausgenutzt und somit geringere Dosisleistungen an den Gebäudeaußenseiten und Transportwegen innerhalb der Anlage erzielt werden.

Die Eigenschaften der charakterisierten und konditionierten Abfälle, welche in das Zwischenlager gebracht werden können, müssen dahingehend bekannt sein, dass sie die noch festzulegenden Annahmebedingungen des Zwischenlagers erfüllen.

Dies betrifft – neben der Begrenzung der Dosisleistungen – u. a. die Festlegung der Abfallgebindeeigenschaften und Begrenzung des Radionuklidinventars.

### 3.6 Anforderungen des Transportes an die Charakterisierung

#### 3.6.1 Innerbetrieblicher Transport

Eine Transportgenehmigung nach Gefahrguttransport-Recht (ADR [15] oder RID [16]) ist für einen rein innerbetrieblichen Transport auf dem Betriebsgelände nicht erforderlich.

Nach aktuellem Planungsstand sind für den innerbetrieblichen Transport Umverpackungen in Anlehnung an Konrad-Container vom Typ IV [27] vorgesehen, in welche jeweils ein bis drei Innenbehälter mit dem rückgeholtten Abfall eingestellt werden. Konrad-Container vom Typ IV können die in Tabelle 5 der EBK [27] angegebenen Aktivitätsmengen aufnehmen. Parallel gelten



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 77



die Begrenzungen für die jeweilige Abfallbehälterklasse (ABK I und II sowie nicht störfallfest/störfallfest), wie in Tabelle 4 der EBK angegeben. Konrad-Container vom Typ IV gibt es je nach Herstellung und Prüfung in einer dieser vier Klassen, welche für die Endlagerung in das Endlager Konrad zugelassen sind. Eine Behälterzulassung für Container zum Transport und (Zwischen-)Lagerung der rückgeholt Abfälle aus der Schachtanlage Asse II liegt derzeit noch nicht vor und ist u. a. auf Basis des Behälterkonzeptes sowie unter Berücksichtigung der Störfallbetrachtungen im Rahmen der Rückholungsplanungen zu entwickeln und auszulegen.

Da die rückgeholt Abfallbehälter beschädigt sein können, muss die Umverpackung wesentliche Schutzfunktionen bei Transport und Lagerung sowie die kontaminationsfreie Übergabe zur weiteren Lagerung und Behandlung sicherstellen. Hierfür sind technische und radiologische Grenzwerte einzuhalten, die aus der Exposition des Personals sowie aus Störfallbetrachtungen resultieren (Dosisleistung, Aktivitätsgrenzwerte, Masse, Schwerpunktlage etc.). Im Rahmen des innerbetrieblichen Transportes können die Anforderungen an die Umverpackung weniger restriktiv sein, als dies für den Transport auf öffentlichen Verkehrswegen der Fall ist. Beispielsweise kann im Rahmen der Nachweisführung für die Einhaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen im innerbetrieblichen Transport ausgeschlossen werden, dass die Umverpackung weder über längere Zeit hohen Temperaturen (z. B. durch Sonneneinstrahlung, aber auch durch die nicht Wärme entwickelnden rückgeholt Abfälle) ausgesetzt ist, noch ein Absturz aus großen Höhen möglich ist. Zudem sind bei Handhabung auf dem Gelände jederzeit (Gegen-)Maßnahmen zur Einhaltung der maximalen Dosisleistungen gewährleistet.

### 3.6.2 Transport zum Endlager

Eine Transportgenehmigung nach Gefahrguttransportrecht (ADR [15] oder RID [16]) wird erforderlich, sobald die konditionierten Abfälle in ein Endlager verbracht werden. Die Konditionierung der Abfälle muss derart erfolgen, dass eine Transportgenehmigung gemäß § 4 AtG bzw. §§ 27 und 29 StrlSchG vom Zwischenlager in das Endlager erlangt werden kann.

An die Umverpackungen für den Transport auf öffentlichen Verkehrswegen bestehen unterschiedliche sicherheitstechnische Anforderungen, welche abhängig von dem Gefährdungspotenzial (je nach Art und Menge) des Inhaltes sind. Für Stoffe mit erhöhtem Gefährdungspotenzial, gelten dementsprechend hohe sicherheitstechnische Anforderungen. Die genaue Beschreibung der Umverpackung (Inhalt, Aufbau des Behälters, eingesetzte Werkstoffe) wird auch als Bauart bezeichnet und ist für Umverpackungen vom Typ B(U), Typ B(M), Typ C sowie für Umverpackungen, welche spaltbare Stoffe enthalten, zulassungspflichtig. Die Zulassungen werden vom BASE erteilt.

Hierbei sind technische und radiologische Grenzwerte einzuhalten, die aus der Exposition des Personals sowie aus Störfallbetrachtungen resultieren (Dosisleistung, Aktivitätsgrenzwerte, Masse, Schwerpunktlage etc.). In den IAEA Safety Standards SSR-6 [69] werden für die zulassungspflichtigen Versandstücke verschiedener Bauarten (Typ B(U), Typ B(M), Typ C) Anforderungen benannt, die im Rahmen der Beförderung radioaktiver Stoffe erfüllt werden müssen:

- Sicherer Einschluss der radioaktiven Inhaltstoffe
- Begrenzung äußerer Strahlungswerte
- Sicherheit gegen Wärmeeinwirkung


Für die äußeren Strahlungswerte werden eine mittlere Ortsdosisleistung von

- < 2 mSv/h in Kontakt,
- < 10 µSv/h in 1 m Abstand sowie
- das Einhalten von Oberflächenkontaminationsgrenzwerten (< 0,4 Bq/cm<sup>2</sup> für Beta/Gamma/Alpha niederer Toxizität und < 0,04 für alle anderen Alpha-Strahler)

vorgeschrieben. Dies stellt insbesondere auch eine Anforderung an die Konditionierung und Herstellung zwischenlagerfähiger Abfallgebilde dar.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 78
--	-----------

Für Umverpackungen mit spaltbaren radioaktiven Stoffen ist darüber hinaus auch die Kritikalitätssicherheit während des Transports zu gewährleisten.

Im Rahmen der Entwicklung des Behälterkonzeptes sollten somit die Randbedingungen aus dem ADR [15] zur Erfüllung späterer Anforderungen für den Transport zum Endlager (z. B. Geschwindigkeit und Dieselmenge der Transportfahrzeuge, Fallhöhe der Gebinde etc.) in Betracht gezogen werden, um Nachqualifizierungen möglichst zu vermeiden bzw. so gering wie möglich zu halten. Hierfür bietet es sich an, wie im Falle der Umverpackung (Konrad-Container Typ IV), auf bereits erprobte und qualifizierte Behälter zurückzugreifen.

### 3.7 Anforderungen der Endlagerung an die Charakterisierung

Da die Festlegung auf ein Endlager, in welches die rückgeholten radioaktiven Abfälle verbracht werden sollen, noch offen ist, werden in Ermangelung einschlägiger Endlagerungsbedingungen im Rahmen dieser Konzepterstellung zunächst die Endlagerungsbedingungen für das Endlager Konrad (EBK) [27] zugrunde gelegt. Hieraus können, z. B. auf Basis der Anforderungen aus der Produktkontrolle ([28], [29]) sowie der Randbedingungen zur Erlangung einer wasserrechtlichen Genehmigung, die Anforderungen an die Charakterisierung der rückgeholten Abfälle für die weitere Konditionierung und Herstellung endlagerfähiger Gebinde qualitativ abgeleitet werden. Dies ist auch im Hinblick auf eine mögliche Nachqualifizierung relevant, sowohl für die Einhaltung der Schutzziele für die Dauer der gesamten Zwischenlagerung als auch für den Nachweis der Erfüllung zukünftig geltender Bedingungen des Endlagers.


Die EBK geben eine umfangreiche Reihe von Anforderungen an die benötigten Informationen zur Herstellung endlagergerecht konditionierter Abfallgebände vor, die wie folgt zusammengefasst werden können:

- Ortsdosisleistung und Oberflächenkontamination,
- Drucklosigkeit,
- Festigkeit (Konsistenz),
- kein Faulen/Gären, keine selbstentzündlichen oder explosiven Stoffe,
- Restriktionen zu enthaltenen spaltbaren Stoffen und Natur-/abgereichertem Uran,
- Vorgaben zur Abfallproduktgruppe, thermischen Stabilität, Fixierung, Dichtigkeit etc.,
- Anforderungen an Abfallbehälter und Abfallbehälterklassen,
- Grenzwerte zu eingelagerten Nuklidaktivitäten,
- Grenzwerte für nichtradioaktive, schädliche Stoffe.

Die für die Endlagerung der radioaktiven Abfälle zu erlangende wasserrechtliche Genehmigung legt insbesondere die Grenzwerte zu den Nuklidaktivitäten sowie für nichtradioaktive, schädliche Stoffe fest. In den EBK [27] sind hierzu Anforderungen an Abfallprodukte und Abfallbehälter, sowie Aktivitätsbegrenzungen für relevante Radionuklide und Massenbegrenzungen für nichtradioaktive schädliche Stoffe zum Schutz des Grundwassers enthalten. Stoffe, welche entsprechend der Listen I und II der Grundwasserverordnung [5] oder im Sinne des § 137 NWG [18] zu einer schädlichen Verunreinigung des Grundwassers oder zu einer sonstigen nachteiligen Veränderung seiner Eigenschaften führen können, müssen für die Prüfung auf Einhaltung der wasserrechtlichen Bestimmungen herangezogen werden. Die Abfallcharakterisierung muss es somit ermöglichen, diese in den Abfällen enthaltenen gefährlichen und sonstigen Schadstoffe und Schadstoffgruppen gem. Anlage 7 und 8 der Grundwasserverordnung [5] zu identifizieren und (abdeckend) zu quantifizieren.

Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die EBK für ein Endlager im Eisenerzgestein mit Tonabdeckung ausgelegt worden sind, und somit in dieser Form nicht unbedingt auf das noch zu findende Endlager für die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II zutreffen müssen. Eine vollumfängliche (quantitative) Zugrundelegung der Anforderungen aus den EBK ist im Rahmen der Konzepterstellung somit nicht zielführend. Da derzeit nur Bandbreiten über Chargen und keine Informationen zu den Abfällen in den Einzelgebänden vorliegen, sollten im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung, wo möglich, bereits die Aspekte der Produktkontrolle (vgl. [28] und [29]) quantitativ berücksichtigt werden. Dies betrifft insbesondere die



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 79

Begrenzung der Aktivität pro Gebinde sowie mechanischen und thermischen Eigenschaften der Umverpackungen.

Die Endlagerfähigkeit der konditionierten, kernbrennstoffhaltigen Abfallgebände ist, auch unter Berücksichtigung des vollständig vorliegenden Behälterkonzeptes gesondert nachzuweisen.

## 4 Technische Randbedingungen und Planungsgrundlagen

### 4.1 Planungsgrundlagen bezüglich der radiologischen Eigenschaften

#### 4.1.1 Ortsdosisleistungen und Strahlenschutz

Die Messwerte der Ortsdosisleistung sind zur Planung der erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen sowie der Auslegung der Messtechnik im Hinblick auf die Abschirmungen, geeignete Hantierungstechnik sowie die Wahl der Messverfahren (insbesondere zur zerstörungsfreien Aktivitätsbestimmung) heranzuziehen.

In Kapitel 2.1.2 wurden die anhand der Einlagerungsbedingungen und der Angaben in der ASSEKAT 9.3.1 [56] zu erwartenden Dosisleistungen der Abfälle dargestellt.

Bereits zum Zeitpunkt der Einlagerung wurden für ca. 76 % der Chargen in den LAW-Kammern maximale Dosisleistungen unter 1 mSv/h an der Außenseite der Behälter gemessen (vgl. Tab. 6). In der MAW-Kammer betrug die maximale Dosisleistung an den Behältern ohne Abschirmung für ca. 91 % der Chargen mehr als 200 mSv/h zum Zeitpunkt der Einlagerung.

Anhand der verfügbaren Daten können somit nur die maximalen Dosisleistungswerte zum Zeitpunkt der Einlagerung abgeleitet werden. Diese Werte wurden zudem zum Teil über die einzelnen Gebinde der abgelieferten Chargen gemittelt. Aussagen darüber, inwieweit sich diese Werte zum Zeitpunkt der Rückholung verringert haben werden, sind auf Basis der aktuellen Daten nicht möglich und erfordern gesonderte Berechnungen für die verschiedenen Behältergeometrien und Abschirmmaterialien.

Für die Planung der Strahlenschutzmaßnahmen und der Messtechnik sind somit folgende Randbedingungen zu berücksichtigen:


- Die Art des für die damalige Einlagerung verwendeten Konditionierungs- und Behältermaterials beeinflusst die Abschirmwirkung gegenüber den zu messenden Radionukliden während der Messungen, weshalb dies bereits bei der Auslegung und Wahl der Messtechniken zu berücksichtigen ist.
- Die Auslegung der Messtechnik zur Aktivitätsbestimmung muss auf die zu erwartenden großen Bereiche der ODL ausgerichtet sein.
- Insbesondere für Behälter aus der MAW-Kammer sind die Arbeiten fernhantiert in abgeschirmten Bereichen (Zellen) durchzuführen.
- Im Rahmen der Charakterisierung und Konditionierung ist eine Vermischung der Materialströme aus der MAW-Kammer mit rückgeholten Abfällen aus den LAW-Kammern zu vermeiden, da diese Materialströme unterschiedliche Anforderungen an die Messtechnik, die Konditionierungsverfahren und damit verbunden an die Logistik innerhalb der Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager haben können.

Sofern im Rahmen der weiteren Planungen durch Berechnungen von Beispielgeometrien unter Berücksichtigung des Zerfalls zum Zeitpunkt der Rückholung detailliertere Kenntnisse zu den zu erwartenden ODL-Bereichen erzielt werden können, sind diese in die Detailplanungen der Messtechnik und benötigten Abschirmungen mit einzubeziehen.

#### 4.1.2 Aktivitätsgehalte und spaltbare Stoffe

Im rückzuholenden radioaktiven Abfall ist eine große Bandbreite an Nukliden und Nuklidaktivitäten zu erwarten (s. Kapitel 2.1.1). Die Ausführungen in Kapitel 2.1.3 zeigen zudem, dass ein Großteil der rückgeholten Abfälle auch spaltbare Stoffe enthalten kann. Aufgrund der Beschränkungen durch die damaligen Einlagerungsgenehmigungen zu der Versuchseinlagerungszeit von 1967 bis



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 80

1971 ([35], [36], [37], [38]) und Annahmebedingungen aus der Zeit der Langzeitversuchseinlagerungen von 1971 bis 1978 ([41], [42], [43]) der Schachtanlage Asse II ist eine Überschreitung der damals geltenden Beschränkungen nur in Ausnahmefällen zu erwarten. Abweichungen von den Beschränkungen (z. B. falsch deklarierte Fassinhalte) wurden bereits an einzelnen Gebinden festgestellt.

Auf Basis der derzeit verfügbaren Aktivitätsangaben liegen die Größenordnungen der mittleren Gesamtaktivitäten pro Gebinde in den typischen Bereichen für LAW (ca.  $10^9$  Bq/Gebinde) und MAW (ca.  $10^{12}$  Bq/Gebinde). Aufgrund des radioaktiven Zerfalls der kurzlebigen Nuklide wird sich die Gesamtaktivität zum Zeitpunkt der Rückholung entsprechend weiter verringert haben (hierbei ist insbesondere im Hinblick auf Dosisberechnungen für Strahlenschutzmaßnahmen jedoch auch der der Aufbau von Tochternukliden zu berücksichtigen).

Die große Bandbreite an Nukliden und entsprechenden Nuklidaktivitäten messtechnisch zu bestimmen, erfordert eine breite Auslegung verschiedener und umfangreicher Messverfahren. Um diese daher einzugrenzen, ist eine detaillierte Einzelbetrachtung erforderlich, anhand derer diejenigen Nuklide identifiziert werden können, welche

- aufgrund ihrer kurzen Halbwertszeit bereits zum Zeitpunkt der Rückholung die einzuhaltenden Grenzwerte entweder pro Gebinde oder im insgesamt eingelagerten Inventar deutlich unterschreiten und somit hinsichtlich ihrer Vernachlässigbarkeit gegenüber den einzuhaltenden Grenzwerten geprüft werden können,
- im Vergleich zum Gesamtinventar einen geringen Anteil an der Gesamtaktivität ausmachen und somit hinsichtlich ihrer Vernachlässigbarkeit geprüft werden können,
- mit anderen Nukliden über Zerfallsketten korrelieren (ggf. nach Einzelfallprüfung, ob sich ein Zerfallsgleichgewicht eingestellt hat) und somit nicht messtechnisch bestimmt werden müssen,
- anhand von bekannten Nuklidvektoren bestimmt werden können.


Bei diesen Einzelbetrachtungen ist jedoch zu beachten, dass sich die dabei zugrunde zu legenden Aktivitäten aus der ASSEKAT 9.3.1 [56] nur auf Chargen, und somit nur gemittelt auf einzelne Gebinde beziehen. Zudem werden aufgrund fehlender Eingangsdaten in der Berechnungsroutine der ASSEKAT bisher für viele Chargen keine Aktivitäten berechnet, sodass die mittlere Aktivität pro Gebinde auf Basis der ASSEKAT ggf. unterschätzt wird. Eine Berücksichtigung der Aktivitäten für diese Chargen durch eine Anpassung der Berechnungsroutine in der ASSEKAT ist daher erforderlich, um für die Entwurfsplanungen belastbarere Aktivitätsangaben zu erhalten und damit Unsicherheiten in der Datenbasis zu reduzieren (die konkrete Anwendung der hier genannten Betrachtungen wird in Kapitel 6.6 weiter dargestellt).

#### 4.1.3 Messbarkeit von Nuklidaktivitäten

Das gängigste Verfahren zur Bestimmung der Aktivitäten ist die In-situ-Gammaspektrometrie. Diese muss auf die zu erwartende Strahlungsintensität der o.g. ODL-Bereiche ausgerichtet sein, die allerdings wie beschrieben in einer relativ großen und nicht genau bekannten Verteilung an Größenordnungen liegt. Hierfür können entweder

- verschiedene Messkonfigurationen an unterschiedlich dafür spezialisierten Gamma-Messanlagen vorgesehen werden, oder
- die Messanlage sieht eine dynamische Einstellung von Kollimatoren und dem Abstand zur Quelle vor (Vorzugsvariante).

Die Detektierbarkeit der einzelnen Nuklide mittels In-situ-Gammaspektrometrie an Innenbehältern (v. a. mit inhomogenen rückgeholteten Abfallmaterial) hängt insbesondere von der vorliegenden Messgeometrie und der Hintergrundstrahlung anderer Nuklide sowie den sich daraus ergebenden, erreichbaren Nachweisgrenzen ab.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 81

Die meisten der in der ASSEKAT 9.3.1 [56] dokumentierten Radionuklide emittieren Gammastrahlung verschiedener Energien und Emissionswahrscheinlichkeiten. Ein Auszug hierzu ist in Tab. 30 dargestellt, die vollständige Auflistung der in der ASSEKAT 9.3.1 dokumentierten Radionuklide ist in Anhang 3 enthalten. Hierin werden die großen Bandbreiten sowohl hinsichtlich der Energien als auch der Emissionswahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Nuklide aufgezeigt:

- Nuklide mit intensiver, hochenergetischer Gamma-Strahlung (z. B. Co-60 und Cs-137),
- Nuklide mit schwacher bzw. niederenergetischer Gamma-Strahlung (z. B. U-235 und Am-241), sowie
- Nuklide welche keine Gamma-Strahlung emittieren (z. B. Sr-90).

Tab. 30: Energien und Emissionswahrscheinlichkeiten emittierter Gamma-Strahlung der in der ASSEKAT 9.3.1 [56] dokumentierten Nuklide (Auszug).


Radionuklid	Energie [keV]	Emissionswahrscheinlichkeit [%]
Co-60	1.173,20	99,85
	1.332,50	99,98
Sr-90	-	-
Cs-137	283,5	0,00058
	661,66	85,1
Th-232	63,81	0,26
	140,88	0,02
U-235	143,77	10,94
	163,36	5,08
	185,72	57
U-238	49,55	0,0697
	113,5	0,0174
Pu-238	43,5	0,0397
	99,85	0,00735
	152,72	0,00093
Am-241	26,34	2,31
	33,19	0,12
	59,54	35,92
Pu-241	77,01	0,0000207
	103,68	0,000103
	148,57	0,0001863

Im Hinblick auf die Unterscheidung einzelner Energiespektren innerhalb eines Gesamtspektrums können folgende Abschätzungen getroffen werden:

- Energien unter ca. 50 keV sind unter In-situ-Bedingungen bei rückgeholten Abfällen (d. h. große Materialmengen und ggf. abschirmendes Material) nicht mehr praktikabel detektierbar.
- Energien unter ca. 300 keV sind nur bei geringen Abschirmdicken, als ausreichend homogenen bekannten Gebinden (d. h. mit Rückschließbarkeit der wenig abgeschirmten Bereiche auf das Gesamtgebäude) und höheren Aktivitäten, sowie der Abwesenheit signifikant überlagernder, höherenergetischer Strahlung detektierbar.
- Energien ab ca. 300 keV sind bei ausreichend signifikanten Emissionswahrscheinlichkeiten (ab etwa > 10 % bis 20 %) auch bei höheren Abschirmdicken mit Kontaminationsmonitoren gut detektierbar. Eine Einschränkung kann jedoch auch hier eine stark heterogene Zusammensetzung des zu messenden Materials sein.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 82
--	-----------

Auf Basis der Energien und Zerfallswahrscheinlichkeiten können diejenigen Nuklide abgeleitet werden, welche sich grundsätzlich zur Bestimmung mittels In-situ-Gammaspektrometrie eignen, sowie solche, welche mit anderen Nachweismethoden bestimmt werden müssen.

Die Messbarkeit mittels In-situ-Gammaspektrometrie orientiert sich dabei an den jeweils dominierenden Gamma-Linien (s. Anhang 3) und bezieht sich ausschließlich auf die durch das jeweilige Nuklid emittierte Strahlung und nicht die potenziell vorhandenen Tochternuklide innerhalb einer Zerfallskette.

#### 4.2 Planungsgrundlagen bezüglich der stofflichen Eigenschaften

Grundlage für die Bewertung des chemotoxischen/grundwassergefährdenden Inventars ist der Ausschluss einer nachteiligen Veränderung des oberflächennahen Grundwassers. Als Bewertungsgrundlage sind hierfür

- das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [4],
- die Grundwasserverordnung (GrwV) [5],
- die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) [17],
- das Niedersächsische Wassergesetz (NWG) [18] sowie
- die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) [24] mit Vorgaben zur Einstufung eines Stoffes in eine Wassergefährdungsklasse

heranzuziehen.

Zudem sind auch diesbezügliche (Neben-)Bestimmungen der zukünftig geltenden Endlagerungsbedingungen zu berücksichtigen, welche sich im Wesentlichen jedoch auf die o.g. rechtlichen Grundlagen stützen werden. Die stoffliche Zusammensetzung muss daher so erfasst werden, dass eine spätere Deklaration entsprechend den Vorgaben der Abfallkampagne mittels eines Stoffvektors sichergestellt ist (s. Kapitel 3.7).

Vollständige und belastbare stoffliche Beschreibungen der radioaktiven rückzuholenden Abfälle stehen derzeit jedoch nicht zur Verfügung. Die in [54] zugrunde gelegten Daten sollten daher zur Klärung verwendet werden, in welcher chemischen und stofflichen Zusammensetzung (Elemente und Verbindungen) die rückzuholenden Abfälle vorliegen können und – sofern möglich – wie diese mengenmäßig verteilt sind (s. Kapitel 2.2).

In Verbindung mit den im Rahmen von Sichtprüfungen unter Tage erlangten Informationen zu der stofflichen Zusammensetzung stellen diese Erkenntnisse wichtige Planungsgrundlagen für den Umfang der Vorbehandlung, die Charakterisierung (insbesondere der Umfang der Probenahme) und die Konditionierung dar. Nach aktuellem Planungsstand ist noch nicht abschließend festgelegt, ob und in welchem Umfang eine derartige Dokumentation bereits unter Tage erfolgt. Aus Sicht der Charakterisierung ist die Erhebung und Dokumentation dieser Daten und ggf. eine erste Einteilung der beladenen IB in Abfallklassen (s. Kapitel 2.2.3.1) zu empfehlen, um bereits bei Anlieferung an die Abfallbehandlungsanlage geeignete Vorbehandlungs- oder Messschritte planen zu können.


#### 4.3 Planungsgrundlagen bezüglich der Integrität rückgeholter Abfallbehälter

Der Behälterzustand der rückgeholten Abfälle ist im Hinblick auf die Art der Handhabung und die Anwendung der Messtechnik im Rahmen der Charakterisierung zu berücksichtigen.

Einige Gebinde wurden bereits undicht angeliefert oder sind seit ihrer Einlagerung korrodiert [58]. Es kann zudem davon ausgegangen werden, dass die Einlagerungstechniken einen wesentlichen Einfluss auf den heutigen Zustand der Gebinde haben. Da die Einlagerung ab 1971 teilweise mittels Versturztechnik erfolgte, ist in den entsprechenden ELK mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass alle versturzten Gebinde beschädigt worden sind. Das Ausmaß der Beschädigung ist jedoch vor der Bergung nicht abzuschätzen. Zudem muss auch von einer Behälterzerstörung bei der Auffahrung der ELK im Rahmen der Bergung und der Rückholung selbst ausgegangen werden, sodass bis zur Bergung noch intakt vorliegende Gebinde hierdurch ebenfalls beschädigt werden könnten.

Eine Übersicht über die Einlagerungstechniken in den jeweiligen ELK ist in Tab. 31 dargestellt [61].



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 83

Tab. 31: Einlagerungstechniken in den jeweiligen ELK gem. [61].

ELK	Versturztechnik	Stapeltechnik	Anmerkung
8a/511m	(X)		Abläss mittels Seilwinde und Greifer aus darüber liegender Beschickungskammer
6/750m	X	X	
4/750m		X	senkrecht stehend gestapelt
1/750m		X	liegend gestapelt
2/750mNA2	X		
7/750m	X	X	
11/750m	X	X	
5/750m	X	X	
7/725m	X		
10/750m	X		
8/750m	X		
12/750m		X	liegend gestapelt
2/750m		X	überwiegend liegend, z. T. stehend gestapelt

Bis zu der eigentlichen Kammeröffnung und Bergung der Abfälle lassen sich jedoch keine gesicherten Angaben zum Anteil noch intakter Gebinde und dem Zerstörungsgrad nicht intakter Gebinde treffen. Die Abfallbehandlungsanlage ist daher dahingehend auszulegen, dass sie sowohl intakte als auch beschädigte sowie zerstörte (d. h. als weitestgehend loses Material vorliegende) Gebinde vorbehandeln, charakterisieren und konditionieren kann. Zudem muss die Anlage auf die Behandlung und Charakterisierung von Salzgrus ausgerichtet sein. Die Ergebnisse der Sichtprüfung aus den Kammeröffnungen und der Beladung der Innenbehälter sind somit direkt an die Abfallbehandlungsanlage weiterzuleiten, um bereits vor Anlieferung an die Abfallbehandlungsanlage die notwendigen Planungsschritte im Hinblick auf Logistik und ggf. erforderlicher Vorbehandlung festlegen zu können.

#### 4.4 Anforderungen an die Erstellung von Probenahmeplänen

Zur Planung und Durchführung der erforderlichen Probenahmen und deren Analyse sind (in Absprache mit dem Strahlenschutzbeauftragten) Probenahmepläne durch das Strahlenschutzpersonal zu erstellen. Diese Probenahmepläne regeln unter anderem die Anforderungen an Probendichte, Probenahmeverfahren, Probenmenge, Probenmaterial, Probenahmeort sowie weitere Randbedingungen der Probenahme, wie z. B. Kennzeichnungen der Proben und Dokumentation.

Aufgrund der im Vorfeld unklaren Datenlage zur radiologischen und stofflichen Zusammensetzung der rückzuholenden Abfälle, insbesondere auf der Betrachtungsebene von einzelnen Gebinden, sind zur Probenahme fallspezifische Herangehensweisen in Abhängigkeit der zum Zeitpunkt der Probenahme bekannten Abfalleigenschaften zu entwickeln.


Hierfür sollten in Abhängigkeit der Abfallgeometrien Standardmethoden sowie mögliche Rückfalloptionen vorgesehen werden, unter Berücksichtigung von

- den Kriterien zur Ermittlung der Mindestanzahl von Einzel- und Mischproben unter Sicherstellung der Repräsentativität,
- den Maßnahmen zur Probenahmetechnik und Probenvorbereitung,
- dem Erkennen und der Sicherstellung von Kontaminationschwerpunkten,
- der Zusammenstellung der Anforderungen an den Probenahmeplan,
- der Anforderungen an die Dokumentationspflicht, sowie
- den Anforderungen an bzw. aus dem Strahlenschutz.

Für die fallweise Abwägung der einzelnen Punkte und die daraus resultierenden Probenahmepläne ist im Rahmen der Genehmigungsplanung ein Konzept zu erarbeiten und der Nachweis zu führen, dass das Konzept den Anforderungen genügt.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 84
--	-----------

#### 4.4.1 Auswahl geeigneter Probenahmeorte am Material

Vor der Beprobung sind neben der Probenart auch die genaue Position der Probenahme am zu beprobenden Material festzulegen. Die Auswahl des Probenahmeortes erfolgt auch im Hinblick auf die Zugänglichkeit des zu beprobenden Materials (handelt es sich hierbei zum Beispiel um weitestgehend intakte VBA oder um loses Material) sowie unter Berücksichtigung des Arbeits- und Strahlenschutzes. Hierfür sind die Ergebnisse aus der Untersuchung der inneren Struktur sowie der ODL- bzw. Aktivitätsverteilung heranzuziehen. Sofern hieraus homogene bzw. im Hinblick auf die Aussagekraft für den radiologischen und stofflichen Zustand repräsentative Bereiche abzuleiten sind, sind diese jeweils als Probenahmebereich am zu beprobenden Material abzugrenzen. Andernfalls sind Mischproben zu nehmen.

#### 4.4.2 Anforderungen an Probendichte und -menge

Die grundsätzliche und wissenschaftliche Herangehensweise bei Abfällen mit unklarer radiologischer und/oder stofflicher Zusammensetzung ist die Entnahme einer Mischprobe, welche massengewichtet repräsentativ zu erstellen ist. Für homogen zusammengesetzte Abfälle kann eine Einzelprobe hierbei bereits ausreichend repräsentativ sein. Je heterogener die Abfallzusammensetzung ist, desto größer ist auch die Anzahl benötigter Mischproben.

Eine detaillierte quantitative und qualitative chemische Analyse ist jedoch mit höheren Strahlenexpositionen, aufwändigeren Hantier- und Zerlegearbeiten zur Erstellung von (Misch-)Proben und entsprechenden Analysezeiten und -kosten verbunden.

Demgegenüber ist daher zu ermitteln, inwiefern von Fall zu Fall konservative Annahmen z. B. auf Basis der vorliegenden Dokumentation oder schätzender Verfahren insbesondere für schwer messbare Nuklide ([28], [29]) getroffen und die Abfälle dahingehend sicher konditioniert und verpackt werden können (s. auch die schätzenden Verfahren im Rahmen der Auswertung in Kapitel 6.6). Die höheren Kosten hinsichtlich der Konditionierung sowie die ggf. höheren Abfallmengen durch gezielte Überschätzung des radiologischen Inventars sind dabei den Einsparungen an Exposition, Analysekosten und -dauern gegenüberzustellen.

Um zudem die Menge an Sekundärabfällen, welche im Rahmen der Beprobung anfallen, möglichst geringzuhalten, sollten aus einer Probe mehrere Informationen (radiologisch und stofflich) gewonnen werden. Die benötigte Probenmenge ist somit im Vorfeld auf das Analyseziel anzupassen.

#### 4.4.3 Durchführung der Beprobung


Die Art der Durchführung der Probenahmen ist im Probenahmeplan festzulegen. Die gewählten Beprobungsverfahren müssen hierbei für die jeweilige Zielsetzung geeignet sein. Sie dürfen insbesondere die Nuklidverhältnisse der zu analysierenden Nuklide nicht verändern. Die zu analysierenden Nuklide sind somit bei der Wahl der Probenahmetechnik zu berücksichtigen.

Für die Probenahme können in Abhängigkeit vom zu beprobenden Material und vom Beprobungsziel verschiedene Beprobungsverfahren angewendet werden, für die eine Vielzahl von Werkzeugen zur Verfügung steht. Folgende Verfahren können für die rückgeholtten Abfälle zur Anwendung kommen:

- Spanproben aktivierter Metalle (Ausnahmefälle)
- Bohrkernproben
- ggf. Stockerproben an inaktivem Beton für die Freigabe
- Flüssigkeitsproben
- Gasproben

Für die Entnahme, Messung und Auswertung der Proben sind ausschließlich für den jeweiligen Zweck geeignete qualifizierte Geräte einzusetzen, die einer Inbetriebsetzungsprüfung unterzogen und wiederkehrend geprüft werden müssen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 85

Zur Gewährleistung der Repräsentativität der Probenahme sind qualifizierte Probenahmeverfahren mit standardisierten Bedingungen anzuwenden, welche im Betriebshandbuch festgelegt werden müssen. Zudem ist zur Probenahme und -auswertung ausschließlicher entsprechend geschultes Personal einzusetzen.

#### 4.4.4 Beprobung der radiologischen Bestandteile

Basierend auf der hohen Zahl zu berücksichtigender Nuklide kann der parallele Einsatz mehrerer Nachweisverfahren unter Anwendung zerstörungsfreier Messungen zur Bestimmung der Alpha-, Beta- und Gamma-Aktivität sowie Materialproben im Rahmen der radiologischen Charakterisierung notwendig und sinnvoll sein. Zum Ausschluss von Nukliden sowie zur Bestimmung von Nuklidvektoren und Nachweisgrenzen ist eine effiziente Mess- und Probenahmestrategie erforderlich, welche neben den leicht messbaren Nukliden auch repräsentative Ergebnisse zu den schwer messbaren Nukliden liefert.

Leicht messbare Nuklide stellen im Wesentlichen Gammastrahler dar, mit Halbwertszeiten bis zu einigen Jahrzehnten. Da die Gammastrahlung eine relativ hohe Reichweite hat, können auch Aktivitäten aus den innenliegenden Strukturen der rückgeholt Abfälle in den Innenbehältern gemessen werden, sofern keine stark abschirmenden Materialien, wie z. B. Blei, enthalten sind, oder die gemessene Strahlung durch die höherenergetischer gamma-emittierender Nuklide überlagert wird.

Schwer messbare Nuklide haben im Wesentlichen lange Halbwertszeiten oder sind aufgrund ihrer kurzen Reichweite zerstörungsfrei nur auf Oberflächen und bei homogenverteilten Aktivitäten nachweisbar. Hierzu zählen insbesondere (reine) Alphastrahler oder Isotope, welche über Elektroneneinfang zerfallen und nur indirekt messbar sind [71]. Schwer messbare Nuklide sind somit in den innenliegenden und zu erwartenden vorrangig heterogenen Strukturen der rückgeholt Abfälle aufgrund der Selbstabschirmungseffekte nicht mehr zerstörungsfrei detektierbar.

Unter Berücksichtigung der heterogenen stofflichen und radiologischen Zusammensetzung der Abfälle und dem Vorhandensein von abschirmenden Materialien im Inneren der rückgeholt Abfallbehälter muss die Probenahme und Analyse der radiologischen Zusammensetzung vollumfänglich auf die in der ASSEKAT dokumentierten Nuklide erfolgen (s. Kapitel 2.1.1 zu Nuklidinventar und Aktivitäten, Tab. 1) und auch nicht in der ASSEKAT deklarierte aber entsprechend der geltenden Endlagerungsbedingungen geforderten Nuklide nachweisen können.

#### 4.4.5 Beprobung der stofflichen Bestandteile


Für die entnommenen Proben ist eine qualitative Gesamtanalyse durchzuführen. Der Umfang der vollchemischen Analyse richtet sich auch nach den zugrunde zulegenden Endlagerungsbedingungen und muss sicherstellen, dass die rückgeholt Abfälle mittels eines oder mehrerer Stoffvektoren deklariert und die Massenbegrenzungen für nichtradioaktive schädliche Stoffe in den Zwischenlagerbehältern eingehalten werden können. Es empfiehlt sich hierbei, analog zu den Endlagerungsbedingungen Konrad, die Stofflisten (Liste I und Liste II) gem. der Anlagen zur Grundwasserverordnung [5] sowie die Angaben zu sonstigen Stoffen, die schädliche Verunreinigungen gem. § 137 NWG [18] bewirken können, heranzuziehen.

Hierbei sollten auch vor Beginn der Rückholung die vorhandenen Daten (insbesondere die in [54] zugrunde gelegten umfangreichen Datensätze, s. auch Kapitel 2.2 und 4.2) zur stofflichen Zusammensetzung aufbereitet und die Stoffe gemäß den gültigen Rechtsgrundlagen eingeteilt und bewertet werden. Hierdurch kann der Analyseumfang abgeschätzt und ggf. sogar im Vorfeld bereits für einige Abfälle eingegrenzt werden.

#### 4.4.6 Kennzeichnungen und Dokumentation

Eine Festlegung der Kennzeichnungssystematik, welche für die gesamte Rückholung angewendet wird, lag zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht vor. Folgende Aspekte sind bei einer Festlegung aus Sicht der Charakterisierung jedoch mindestens zu berücksichtigen:



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 86

- Jede Probenahme ist grundsätzlich eindeutig und systematisch zu kennzeichnen (Probenahme-ID) und den bereits vorangegangenen Messungen zuzuordnen. Der Probenahme-ID sind die Probenahmeart, der Probenahmeort sowie die Messergebnisse zu hinterlegen)
- Während der Probenahme ist eine Fotodokumentation der gewonnenen Proben zu erstellen und der Probenahme-ID zuzuordnen.
- Die Proben müssen jederzeit der entnommenen Abfalleinheit zuzuordnen sein, insbesondere wenn eine Sortierung und Separierung der Abfälle eines Innenbehälters erforderlich ist.

#### 4.5 Planungsgrundlagen bezüglich Materialtransport und -eigenschaften

##### 4.5.1 Schnittstellen von Materialverarbeitung und -lagerung innerhalb der Gesamtanlage

Viele der für die Charakterisierungsschritte notwendigen Verfahren müssen unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen (Fernhantierung, Abschirmung, Abschluss etc.) stattfinden. Diese Schritte haben eine prozesstechnisch sehr starke Überschneidung mit denen der Konditionierungsmaßnahmen für das Abfallmaterial, und verwenden vielfach das gleiche Equipment. Zudem ist für einen größeren Teil der Abfälle zu erwarten, dass eine mitunter mehrfach wechselnde Abfolge von Charakterisierungs- und Konditionierungsschritten bis zur vollständigen Charakterisierung und Herstellung endlagerfähiger Gebinde notwendig ist.

Die effizienteste Planungslösung ist daher eine prozess- und gebäudetechnisch gekoppelte und aufeinander abgestimmte Konditionierungs- und Charakterisierungsanlage, welche in dieser Form im Rahmen der Konzeptplanung zur Charakterisierungsanlage zugrunde gelegt wird. Eine Trennung der Prozesse der Charakterisierung und Konditionierung würde eine ineffiziente, redundante und insbesondere sicherheitstechnisch aufwändige Übergabe zwischen den einzelnen Anlagen zur Folge haben. Die Anlagenbezeichnungen „**Konditionierungsanlage**“ (**KA**), „**Charakterisierungsanlage**“ (**CA**) und „**Pufferlager**“ (**PL**) beziehen sich somit ausschließlich auf die Abgrenzung der damit verbundenen Funktion der Abfallbehandlungsanlage, nicht auf eine strikte räumliche Trennung dieser Anlagenbestandteile.

Ferner ist die Puffer- bzw. Zwischenlagerung der Abfälle im selben Gesamtgebäude geplant. Die genaue Übergabeform zwischen den Verarbeitungs- und Lagerbereichen konnte durch die BGE noch nicht konkret spezifiziert werden, es ist aber von üblichen Methoden (z. B. Kran- oder Fahrzeugtransporte) auszugehen. Im Rahmen des weiteren Berichts wird der gemeinsame Komplex aus Charakterisierungsanlage, Konditionierungsanlage und Pufferlager (aber nicht das ggf. im gleichen Gebäude befindliche Zwischenlager) als „**Abfallbehandlungsanlage**“ (**ABA**) bezeichnet.


##### 4.5.2 Behälterkonzept zum Transport der rückgeholten Abfälle

Hinsichtlich des Behälterkonzeptes zum Transport der rückgeholten Abfälle aus den Einlagerungskammern zur Abfallbehandlungsanlage bildet im Rahmen der Konzepterstellung folgender Planungsstand die Grundlage für die Auslegung der Mess- und Hantiertechnik:

- Der Rohabfall wird nach über Tage in Form von Umverpackungen (UV) gebracht, die den bereits qualifizierten und praxisbewährten Konrad Containern vom Typ IV (KC-IV) entsprechen, und die einen oder mehrere Innenbehälter (IB) enthalten. Die Rohabfälle sind dabei ausschließlich innerhalb der IB gelagert. Die IB wiederum werden für alle Transport- und Lagerschritte ausschließlich in UV gelagert. Die UV werden außen kontaminationsfrei gehalten und dienen daher dem sicheren Transport und der Puffer- bzw. Zwischenlagerung der direkt in den IB gelagerten, rückgeholten Rohabfälle.
- Ein abgestimmtes Konzept zu den IB lag zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht vor. Die IB sollen mindestens provisorisch verdeckelbar sein und aus Stahl mit dafür üblichen Wandstärken (einige Millimeter) gefertigt werden. Sie sollen zudem aus den UV



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 87
--	-----------

flexibel entladen und wieder beladen werden können. Die Hantierungstechnik muss somit mit den Anforderungen an die technischen Planungen unter Tage abgestimmt werden.

- Die UV und IB werden bei der Fertigung bzw. spätestens bei der Einbringung in den Rückholprozess mit einer eindeutigen ID-Nummer versehen und sind somit eindeutig identifizierbar und nachverfolgbar.
- Die IB können grundsätzlich außen kontaminiert sein und sind entsprechend ohne UV nur in Strahlenschutzbereichen aus den UV zu entnehmen.

Da noch keine abschließenden Vorgaben zum Behälterkonzept vorliegen, wird das technische Konzept diesbezüglich flexibel gestaltet. Sofern sich Neuerungen in oder Ergänzungen zu den o. g. Randbedingungen (z. B. Größe und Anzahl Innenbehälter, Durchsatzanforderungen, genaue Vorgaben zur Endlagerung etc.) ergeben, ist im Rahmen der Entwurfsplanung das Konzept entsprechend anzupassen.

#### 4.5.3 Kategorisierung und Handhabung der zu behandelnden Materialströme

Zum aktuellen Planungsstand der Rückholung wird von einem mittleren Durchsatz von 5,3 UV pro Tag aus der Rückholung ausgegangen. Da die Charakterisierung und Konditionierung den zeitlichen Ablauf der Rückholung maßgeblich beeinflussen, ist die Zahl der über Tage angelieferten UV vom maximal möglichen Durchsatz der Abfallbehandlungsanlage durch das Pufferlager zu entkoppeln. Der zu konzipierende Durchsatz der Charakterisierungsanlage sollte so ausgelegt werden, dass er auch unter den gegebenen räumlichen Randbedingungen ein bestmöglich effizientes und wirtschaftliches Arbeiten der Anlage ermöglicht.

Die rückgeholten Rohabfälle werden, unabhängig von ihrer Form, grundsätzlich in IB transportiert, welche in UV eingestellt in die ABA angeliefert werden. Hierbei können folgende Abfallarten angeliefert werden, mit welchen im Rahmen der Charakterisierung umgegangen werden muss (vgl. Kapitel 2.2.3):

- Intakte, teils oder ganz zerstörte Fässer verschiedener Größen und Formen, ggf. vermischt mit Salzgrus. Die Vermischung kann stark und ggf. nur schwer trennbar sein, so dass einzelne Gebinde ggf. nicht wirtschaftlich daraus isoliert werden können. Es ist auch damit zu rechnen, dass einige Gebinde zur Ausbringung aus den ELK, insbesondere der 750-m-Sohle, durchtrennt/zerstört werden müssen.
- Loser Inhalt aus Gebinden und ggf. unverpackten Abfällen, ggf. vermischt mit Salzgrus
- Verlorene Betonabschirmungen und (ggf. nicht-zylindrische) Sondergebände, ggf. vermischt mit Salzgrus
- Potenziell kontaminierter Salzgrus in unterschiedlichen Verfestigungsgraden, ggf. mit enthaltenen, losen Abfallbestandteilen
- Potenziell kontaminierte Salzlauge/Flüssigkeiten (in entsprechenden Tanks innerhalb der UV / des IB, hier besteht noch kein bekannter Planungsstand)

Die Form der Anlieferung (Kran, Förderband, Transportgefährt) ist zum aktuellen Planungsstand noch offen. Eine entsprechende Übergabe der verschlossenen UV in und aus den entsprechenden Bereichen der ABA erfolgt an dafür vorgesehenen Schleusenbereichen. Die genauere Beschreibung der dazu konzeptionierten Transport- und Hantierungstechnik erfolgt in Kapitel 7.2.

Innerhalb der ABA sind die rückgeholten radioaktiven Abfälle verschiedenen Charakterisierungs- und Konditionierungsmaßnahmen zuzuführen, die jeweils speziell dafür ausgelegtes Equipment erfordern. Am Ende der Verarbeitung in der ABA (auch wenn die Konditionierung/Charakterisierung noch nicht abgeschlossen sind) sind die Abfälle entweder in Form von entsprechenden IB in UV zu verladen oder entsprechend der geltenden Einlagerungsbedingungen des Endlagers (welches aktuell noch nicht feststeht) durch die KA zu konditionieren.

Die Charakterisierung und der Transport der rückgeholten radioaktiven Abfälle innerhalb der ABA sollte grundsätzlich in den Innenbehältern (oder vergleichbaren Messbehältern) erfolgen. Diese



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 88



sind dabei außerhalb der direkten Hantierungsbereiche für die IB (d. h. KA und CA) in UV verpackt (insbesondere im PL).

Da aus messtechnischen Gründen bei intakten und massiven Einzelgebinden (EG, v. a. VBA und Fässer mit starkem Abschirmmaterial) eine Entnahme aus dem IB in einem Teil der Fälle erforderlich sein kann, sind diese an der jeweiligen Station temporär aus dem IB zu entnehmen (dies erfolgt z. B. an den in Kapitel 7.5 aufgeführten Stationen für die Messung und Behandlung von EG, d. h. tomographische/radiographische Scanner, Neutron-Aktivierungsanalyse (NAA), radiologische Scanner für EG, sowie Hantierungs- und Sortierzelle). Dies geschieht grundsätzlich immer an der jeweiligen Station, ohne entnommene EG über separate Transportwege zwischen den Stationen zu bewegen. Durch gemeinsame räumliche Gruppierung dieser Stationen (insbesondere der Spezialmessstationen für zylindrische Gebinde) kann dabei ein Synergieeffekt geschaffen werden, bei dem die Hantierungsinstrumentierung effizient gemeinsam genutzt werden kann.

Aus dem ausschließlichen Transport des Abfallmaterials innerhalb von IB zwischen den Stationen ergeben sich folgende logistische Vorteile:

- Die Transport- und große Teile der Hantierungstechnik innerhalb der ABA können einheitlich ausgelegt werden, und es sind keine verschiedenen oder speziellen Transportformen zu berücksichtigen.
- Der Transport findet immer in nachweislich mechanisch stabilen und geprüften Behältern des gleichen Typs statt.
- Das Auspacken rückgeholter radioaktiver Abfälle aus den IB wird nur für diejenigen Abfälle durchgeführt, bei welchen es aus Gründen der Hantier- und/oder Messbarkeit als notwendig erachtet wird.
- Die ggf. notwendige Umsortierung bzw. -verpackung von Abfallmaterial kann an den Hantierungsstationen durch Entnahme aus dem IB und Überführung in Messbehälter (z. B. Überfässer, kontaminationsfreie IB oder möglichst im Hinblick auf die Ausführung an die IB angelehnte Spezialbehälter) durchgeführt werden. Dies dient in diesen Fällen der Herstellung einer besser geeigneten und/oder physisch stabileren Form für die Messung und erlaubt auch die effiziente Sammlung von ähnlichem Abfallmaterial in standardisierten Behältern.

Der Transport unverpackter rückgeholter Abfallbehälter sollte im Sinne der Kontaminationsverschleppung, der nicht gewährleisteten Integrität der Behälter und der damit verbundenen Gefahr von Material- und Kontaminationsaustritt vermieden werden. Stattdessen sind der Transport und die Messungen in IB (oder geeigneten Messbehältern) durchzuführen.

#### 4.5.4 Abfallhantierungsform (manuell vs. fernhantiert)

Grundsätzlich kommen für die Hantierungsform der rückgeholten radioaktiven Abfälle manuelle und fernhantierte Techniken in Frage. Die manuelle Hantierung stellt hierbei eine vergleichsweise kostengünstige und logistisch einfach zu implementierende Lösung dar. Allerdings sind manuelle Verfahren nur dann vorzusehen, wenn von keiner Gefährdung des Personals ausgegangen werden kann. Die Auswahl der Hantierungsform muss sich daher nach den einzuhaltenden Sicherheitsvorkehrungen im Hinblick auf die ODL und die Freisetzung schädlicher Stoffe richten.

Wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, ist mit einer großen Bandbreite an ODL-Bereichen zu rechnen. Insbesondere bei Hantierungsschritten, bei denen das Auspacken und Öffnen von Abfall nötig ist, sind fernhantierte Techniken vorzusehen.

Es wird daher im Rahmen der Konzeptplanung davon ausgegangen, dass die Abfälle innerhalb der ABA grundsätzlich fernhantiert werden müssen. Wo möglich, kann jedoch eine manuelle Hantierung eines Teils der Abfälle in bestimmten Bereichen vorgesehen werden. Beispielsweise können für Hantierungszellen Handschuhboxen zur manuellen Sortierung von rückgeholten radioaktiven Abfällen mit sehr geringen ODL vorgesehen werden. Dies ist jedoch nur als Option für



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 89



spezielle Konditionierungsmaßnahmen vorzusehen, wie insbesondere die Untersuchung und Sortierung von kleinteiligen, inhomogenen Abfällen.

#### 4.5.5 Planungsgrundlagen zu messtechnischen Randbedingungen des Abfallmaterials

Zusätzlich stellen sowohl die chemische Zusammensetzung des Abfallmaterials als auch des Behälter- und Konditionierungsmaterials unterschiedliche Anforderungen an die technische Auslegung der Abfallbehandlungsanlage. Die unterschiedlichen Materialien haben Einfluss auf die Erreichbarkeit von Nachweisgrenzen, die gemäß den unterschiedlichen genehmigungsrechtlichen Anforderungen (Transport, Zwischenlagerung, Endlagerung) zu erfüllen sind. Bei der technischen Auslegung der Messeinrichtung ist daher zu berücksichtigen, was diese, aus genehmigungsrechtlicher Sicht, mindestens messtechnisch erfassen muss.


Enthalten die rückgeholt radioaktiven Abfälle Behälter- oder Konditionierungsmaterial mit hoher Abschirmwirkung gegenüber dem radioaktiven Abfallmaterial, sind auch darin enthaltene höherenergetische Nuklide nur schwer messbar. Die gleiche abschirmende Wirkung wird auch erzielt, wenn die zu messenden Abfalleinheiten zu große Materialdichten aufweisen, so dass diese mittels durchstrahlender Verfahren (wie Tomographie und Gammaskopie) nicht mehr durchdrungen werden können. Um diese zerstörungsfreien Verfahren daher sinnvoll und praktikabel anwenden zu können, sollte die Masse der zu messenden Abfalleinheiten z. B. durch eine geeignete Dimensionierung der Innenbehälter begrenzt werden. Aus der praktischen Erfahrung hat sich eine Massenbegrenzung von bis zu 1 Tonne bewährt. Eine belastbare Angabe hierzu kann jedoch nur anhand von Abschirmberechnungen auf Basis der Behältergeometrien, der zu erwartenden Abfalleigenschaften sowie der Konzipierung der betreffenden Messanlage erreicht werden.

#### 4.6 Auswirkungen der verfügbaren Datenlage auf die technische Planung

Die Zusammenstellung der derzeit bekannten Eigenschaften der rückzuholenden Abfälle im Hinblick auf die radiologische und stoffliche Zusammensetzung dient als Grundlage, um die Auslegung der Charakterisierungsanlage frühzeitig an die Bandbreite der Abfalleigenschaften anzupassen. Die Datenlage zeigt, dass zum jetzigen Zeitpunkt von abdeckenden Annahmen ausgegangen werden muss, da jedes einzelne geborgene Gebinde Abfall unbekannter Zusammensetzung und Aktivität innerhalb dieser Bandbreiten darstellen wird. Nachfolgend sind die wesentlichen Unsicherheiten im Hinblick auf den derzeit bekannten Zustand der eingelagerten Abfälle zusammengestellt.

- Zum Zeitpunkt der Einlagerung war der im Vergleich zu heute hohe Anspruch an die Langzeitsicherheit noch nicht gefordert. Die damaligen Anforderungen an die notwendigen Angaben über die eingelagerten Materialien sind in ihrem Umfang mit dem heutigen Standard nicht vergleichbar.
- Es ist nicht davon auszugehen, dass die in den jeweiligen ELK eingelagerten Abfälle anhand ihrer Fassnummer identifiziert bzw. spezielle Aufschriften zur Kennzeichnung von radium- oder thoriumhaltigen Abfälle noch erkennbar sein werden. Somit liegen vor der Charakterisierung keine Informationen zu den Abfällen in Einzelgebinden vor.
- Teilweise fand eine nachträgliche Aufteilung von Fassinhalten auf andere Fässer statt, welche nicht dokumentiert wurde. Zudem wurde bei der Öffnung von Abfällen, welche für die Schachtanlage Asse II konditioniert, dort aber nicht mehr eingelagert wurden, flüssige radioaktive Abfälle vorgefunden [31], welche auf den zugehörigen Begleitdokumenten nicht deklariert worden sind. Inwiefern dies auf die jeweiligen eingelagerten Abfälle zutrifft, kann nicht abgeschätzt werden.
- Für viele Chargen wurde keine Aktivitätsberechnung in der ASSEKAT durchgeführt, da hierzu entsprechende Daten zur Durchführung der entsprechenden Berechnungsroutinen fehlen. Eine Neubewertung und -berechnung des Inventars sollte daher dann erfolgen, sobald die derzeit durchgeführte Überprüfung und Überarbeitung der ASSEKAT abgeschlossen ist.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 90

## 5 Relevante Messgrößen

In Kapitel 5 wird dargestellt, welche Messgrößen im Rahmen der Charakterisierung der rückzuholenden Abfälle zu ermitteln sind und welche Randbedingungen für deren Ermittlung gelten, insbesondere welche Besonderheiten und speziellen Anforderungen durch den Abfall- und Behältertyp zu beachten sind.

Die genehmigungsrechtlichen Randbedingungen für die Herleitung dieser Messgrößen hängen von den möglichen Entsorgungszielen ab (s. Kapitel 3.3.6):

Für eine **Freigabe und Entlassung aus dem AtG** sind die in Anlage 4 Tabelle 1 zu §§ 35 und 36 StrlSchV genannten Freigabewerte nachweislich einzuhalten.


Für die **Beseitigung als radioaktiver Abfall in einem Endlager** gelten neben den radiologischen auch mechanisch/strukturelle sowie chemisch/stoffliche Anforderungen an die Abfälle, welche nachweislich eingehalten werden müssen (s. Kapitel 3.7). Die Qualitätssicherung zur sachgerechten Endlagerung der radioaktiven Abfälle unter den Gesamtvorgaben (Produktkontrolle) muss die Einhaltung der Annahmebedingungen des Zwischenlagers und der Einlagerungsbedingungen zur Endlagerung erforderlichen Eigenschaften sicherstellen. Im Rahmen der Konzeptplanung werden hier ersatzweise die Endlagerungsbedingungen Konrad [27] (EBK) zugrunde gelegt.

Definitionsgemäß wird bei der Produktkontrolle für das Endlager Konrad zwischen radiologischen [28] und stofflichen [29] Aspekten unterschieden. Die radiologischen Aspekte der Produktkontrolle umfassen, neben der radiologischen Charakterisierung der Abfälle, die Prüfungen von Abfallbehältern, dem Abfallproduktzustand von Abfallgebinden, der erforderlichen Dokumentation sowie die Qualifizierung von Konditionierungsmaßnahmen und die Festlegung begleitend durchzuführender Kontrollmaßnahmen. In der Produktkontrolle werden die Anforderungen an radioaktive Abfälle in folgenden 14 Kategorien zu den endlagerrelevanten Eigenschaften zusammengefasst und auf deren Einhaltung kontrolliert [28]:

- Gesamtaktivität des Abfallgebindes,
- Aktivität relevanter Radionuklide,
- Ortsdosisleistung an der Oberfläche und in 1 m bzw. 2 m Abstand,
- Oberflächenkontamination,
- Zusammensetzung des Rohabfalls (s. Kapitel 2 in Anlehnung an [14]),
- Qualität des Fixierungsmittels,
- Qualität des Abfallbehälters,
- Mengenverhältnisse Abfall/Fixierungsmittel/Wasser/Zuschlagstoffe,
- Durchmischung des Fixierungsmittels mit dem Abfallmaterial im Rahmen der Konditionierung,
- Masse Abfallgebinde, Abfallprodukt oder innere Abschirmung,
- Abbinde- bzw. Produktzustand,
- Wassergehalt bzw. Restfeuchte,
- thermisches Verhalten und
- Stapel- und Handhabbarkeit.

Die Planung der Abfallbehandlungsanlage sollte darauf ausgelegt werden, dass die rückgeholt radioaktiven Abfälle endlagergerecht (nach-)konditioniert werden müssen. Die Charakterisierung der rückgeholt radioaktiven Abfälle zur Bestimmung der zuvor genannten endlagerrelevanten Eigenschaften muss daher derart erfolgen, dass die Abfälle geeignet konditioniert und somit sicher zwischengelagert und zum Endlager transportiert werden können. Die Charakterisierung sollte es auch ermöglichen, artgleiche Materialien aus verschiedenen Abfallströmen der rückgeholt radioaktiven Abfälle zu identifizieren, um im Rahmen der Konditionierung Abfälle ähnlicher Zusammensetzung aus verschiedenen Materialströmen zu einem Abfallgebinde zusammenzuführen.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 91
--	-----------

Im Rahmen dieser Konzepterstellung erfolgt jedoch nicht die Wiedergabe aller Vorgaben aus den EBK (s. Kapitel 3.7), sondern die Angabe der sich daraus ergebenden Anforderungen an die zu ermittelnden Messgrößen, die erforderlichen Nachweisgrenzen und sonstige Anforderungen (z. B. spezielle Lagerungsanforderungen, etwa für Kernbrennstoffe).

Für die Konzepterstellung und Beurteilung der einzusetzenden Messtechnik werden daher die Anforderungen aus den EBK in messtechnisch weitestgehend voneinander abgrenzbare Messkategorien mit ihren zugehörigen Anforderungen eingeteilt und in Tab. 32 zusammengefasst.

Tab. 32: Einteilung in Messkategorien und Übersicht über wesentlichen Anforderungen, die sich gem. den EBK [27] an die Charakterisierung der rückzuholenden radioaktiven Abfälle ergeben.

Messkategorie Einzelanforderung		Anforderungen gem. [27]
<b>A – Strahlenschutzrelevante Anforderungen</b>		
<b>A1</b>	Oberflächen-Dosisleistung	Mittlere und maximale Werte an der Außenseite des Gebindes in verschiedenen Abständen kleiner als der vorgegebene Grenzwert
<b>A2</b>	Oberflächen-Kontamination	Werte an der Außenseite des Gebindes kleiner als der vorgegebene Grenzwert
<b>B – Mechanisch/Strukturelle Anforderungen</b>		
<b>B1</b>	Drucklosigkeit	Gebinde ohne Überdruck
<b>B2</b>	Konsistenz	Abfallmaterial fest, keine freien Flüssigkeiten
<b>B3</b>	Gewicht, Innere Struktur	Kenntnis notwendig, insbesondere für Endlagerdeklaration, mechanische Stabilität, Unterstützung der stofflichen Identifikation (Punkt C2)
<b>C – Chemisch/Stoffliche Anforderungen</b>		
<b>C1</b>	Explosive Stoffe, Faulen/Gären	Keine explosiven oder selbstentzündlichen Stoffe, kein Faulen/Gären
<b>C2</b>	Stoffliche Zusammensetzung	Kenntnis der stofflichen/chemischen Zusammensetzung, Einordnung in Stoff- und Abfallproduktgruppen
<b>C3</b>	Nichtradioaktive, schädliche Stoffe	Stoffe müssen deklariert werden und unterhalb vorgegebener Grenzwerte liegen
<b>D – Radiologische Anforderungen</b>		
<b>D1</b>	Nuklid-Aktivitäten	Aktivitäten müssen deklariert werden und unterhalb vorgegebener Grenzwerte liegen
<b>D2</b>	Spaltmaterial und Uran	Aktivitäten/Massen müssen deklariert werden, unterhalb vorgegebener Grenzwerte liegen und Anforderungen an Verteilung und Fixierung genügen

Die vier Messkategorien A bis D mit ihren jeweiligen Anforderungen fassen die Bereiche der grundsätzlich erforderlichen Messverfahren zusammen und dienen im Rahmen der Konzeptentwicklung als Grundlage für die Auswahl geeigneter Messverfahren.

Eine detaillierte Beschreibung der Einzelanforderungen an die Abfallgebinde erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln 5.1 bis 5.4. Der Detailgrad der Beschreibung der Messkategorien erfolgt im Rahmen dieser Konzeptplanung insofern, wie er für die Definition der messtechnischen Anforderungen notwendig ist.

## 5.1 Strahlenschutzrelevante Anforderungen (Messkategorie A)

### 5.1.1 Oberflächendosisleistung

Die mittlere Ortsdosisleistung (einschließlich Neutronen) an der Oberfläche eines Abfallgebindes wird in den EBK wie folgt vorgegeben:

- Begrenzung zum Zeitpunkt der Anlieferung an das Endlager an der Oberfläche jedes Endlagergebindes auf einen Mittelwert von 2 mSv/h und einen lokalen Maximalwert von 10 mSv/h



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 92



- Begrenzung auf 0,1 mSv/h in 1 m bei zylindrischen und 2 m bei quaderförmigen Endlagergebinden

Die Bestimmung der oben genannten Größen im Zuge der Charakterisierung dient in erster Linie dazu, die folgenden Informationen zu gewinnen:

- Ortsaufgelöste Messwerte für den Behälter mit rückgeholten radioaktiven Abfall, die (mit vergleichsweise geringem messtechnischem Aufwand) Auskunft über Verteilung und Größenordnung der enthaltenen Aktivität geben können
- Sicherheitsrelevante Strahlenschutzinformationen für das Personal im Rahmen des Umgangs mit und dem Transport von rückgeholten radioaktiven Abfällen
- Erfassung der Änderung der obigen Informationen (insbesondere bezüglich des Strahlenschutzes) bei mechanischer Manipulation der Behälter mit rückgeholtem radioaktiven Abfall (Verschieben von Abschirmungen etc.)

### 5.1.2 Oberflächenkontamination

Die Oberflächenkontamination, d. h. die nicht festhaftende Kontamination an der Außenseite eines für die Endlagerung konditionierten Abfallgebindes, darf spezifisch festgelegte Grenzwerte für verschiedene Nuklide und Strahlungstypen nicht überschreiten.

Die EBK geben hierzu vor, dass die über eine Fläche von 100 cm<sup>2</sup> gemittelte, nicht festhaftende Oberflächenkontamination an keiner Stelle der Oberfläche des Abfallgebindes

- 0,5 Bq/cm<sup>2</sup> für Alphastrahler, für die eine Freigrenze von 5 kBq festgelegt ist,
- 50 Bq/cm<sup>2</sup> für Beta- und Elektroneneinfangstrahler, für die eine Freigrenze von 5 MBq festgelegt ist,
- 5 Bq/cm<sup>2</sup> für sonstige Radionuklide

überschreitet.

Auch hier dient die Bestimmung dieser Größen in erster Linie dazu, die Einhaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen im Rahmen des Betriebes der Anlage für das Personal wie folgt nachzuweisen:

- Sicherheitsrelevante Strahlenschutzinformationen für den personellen Aufenthalt, Umgang, Transport etc. mit den Gebinden, insbesondere im Hinblick auf Kontaminationsverschleppung innerhalb der Anlage.
- Beurteilung (bzw. Beurteilungshilfe) für die Dichtigkeit der Behälter und möglicher Leckagen und Austrittsstellen.

Zudem kann optional deren Bestimmung auch als Beurteilungshilfe zu Kontaminationsgrad und -verteilung sowie Aktivitäts- und Nuklididentifikation in dafür geeignetem (auch losem bzw. unverpackten) Abfall dienen, wo sich dies im Zuge des Charakterisierungsverfahrens anbietet.


## 5.2 Mechanische/strukturelle Anforderungen (Messkategorie B)

### 5.2.1 Drucklosigkeit

Die rückgeholten radioaktiven Abfälle sowie die Abfallgebinde müssen weitestgehend ohne Überdruck abgeliefert werden, der Innendruck darf gemäß der EBK für Abfallgebinde 1,2 bar nicht überschreiten. Entsprechende Druckentlastungsmaßnahmen sind zulässig.

Zudem ist es auch aus sicherheitstechnischer Sicht grundsätzlich geboten, die intakten Behälter der rückgeholten Abfälle, wenn nötig, zu druckentlasten. Auch beschädigte Behälter können im Inneren abgeschlossene, intakte Bereiche aufweisen, in welchen eine Gasbildung grundsätzlich möglich ist.

Sofern solche Behälter zur weiteren Charakterisierung nicht ohnehin geöffnet werden müssen, kann die Druckentlastung auch durch Aufbohren des Behälters erfolgen.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 93

Ferner sollte auch die Handhabung intakter rückgeholter Abfallbehälter mit Unterdruck bei der mechanischen Hantierung berücksichtigt werden. Hierzu liegen keine expliziten Anforderungen aus den EBK vor.

Nach aktuellem Planungsstand wird während der Bergung keine Sonderbehandlung von Gebinden mit offensichtlichem Überdruck oder flüssigem Inhalt (vgl. den nachfolgenden Kapitel 5.2.2) erfolgen. Die Herstellung der Drucklosigkeit intakter Gebinde unter Berücksichtigung des Arbeits- und Strahlenschutzes stellt daher eine Anforderung an die Charakterisierung dar.

### 5.2.2 Konsistenz

Im Rahmen der Charakterisierung ist die Konsistenz der rückgeholten Abfälle zu bestimmen, um die Art und Möglichkeit der nachfolgenden Konditionierung festlegen zu können. Die endzulagernden Abfallprodukte müssen entsprechend der EBK in fester Form vorliegen und (bis auf unvermeidbare Restgehalte) keine freisetzbaren Gase oder freie bewegliche Flüssigkeiten z. B. in Flaschen oder Ampullen enthalten.

### 5.2.3 Gewicht und innere Struktur

Das Gewicht der rückgeholten Abfälle muss grundsätzlich bestimmt werden

- zu deren Weiterverpackung,
- zu Transportzwecken sowie
- als Eingabewert für nachfolgende Charakterisierungsschritte.

Die äußere Struktur des rückgeholten Abfalls wird im Rahmen einer Sichtkontrolle sowohl bei der Bergung unter Tage als auch bei Anlieferung in der Abfallbehandlungsanlage dokumentiert. Hierfür ist keine spezielle, messtechnische Charakterisierungsmethode notwendig.

Die Ermittlung der inneren Struktur des Abfalls wird in den EBK nicht explizit gefordert, jedoch ist die Kenntnis hierüber für die Charakterisierung aus den folgenden Gründen technisch notwendig:

- Die Kenntnis der Dichte- und Strukturverteilung des rückgeholten radioaktiven Abfalls ist notwendig für eine effektive radiologische Charakterisierung (z. B. Detektion abschirmender Strukturen) sowie für die spätere Wahl der Konditionierungsmethode. Alternativ können auch konservative Modelle herangezogen werden. Diese eignen sich jedoch nicht als Standardmethode, da hierdurch Scheinaktivitäten entstehen.
- Die Dichteverteilung ist auch (insbesondere im Hinblick auf eine potenziell ungünstige Schwerpunktlage) sicherheits- und transporttechnisch relevant.
- Die o. g. Forderung nach einer Identifikation freier Flüssigkeiten und Gase erfordert in der Regel die strukturelle Detektion der entsprechenden Hohl-/Füllräume im Gebinde.
- Die mechanische Stabilität und die grundsätzliche strukturelle Beschaffenheit der rückgeholten radioaktiven Abfälle müssen zur Erfüllung der Endlagerungsbedingungen bekannt sein. Deren Bestimmung ist bei der Konditionierung zum endlagergerechten Abfallgebände als Eingangsgröße zu berücksichtigen.
- Die Ermittlung der inneren Struktur dient der Beurteilung der Homogenität des rückgeholten Abfalls, auch im Rahmen der Probenahme zur Analyse der stofflichen Zusammensetzung.


## 5.3 Chemische/stoffliche Anforderungen (Messkategorie C)

### 5.3.1 Explosivstoffe und Faulen/Gären

Die Abfallgebände dürfen keine explosiven oder selbstentzündlichen Stoffe enthalten und nicht faulen oder gären. Auf Basis der Abfalldokumentation ist davon auszugehen, dass folgende Stoffe in den rückzuholenden radioaktiven Abfällen enthalten sein können:

- Brennbare bzw. selbstentzündliche Feststoffe (welche auch über die stoffliche Charakterisierung erfasst werden),



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 94

- brennbare bzw. selbstentzündliche Flüssigkeiten, wie z. B. Öle, Kraftstoffe (sofern noch in flüssiger Form vorhanden) sowie
- explosive und/oder auf Gär-/Faulprozesse hinweisende Gase, insbesondere:
  - Methan aus Zersetzungsprozessen von organischen Materialien,
  - Wasserstoffgas (H<sub>2</sub>) aus der Reaktion von Leichtmetallen wie z. B. Aluminium oder Magnesium und deren Legierungen mit eventuell vorhandenem Wasser,
  - Wasserstoffgas (H<sub>2</sub>) aus radiolytischen Reaktionen im Gebinde, insbesondere mit eventuell vorhandenem Wasser,
  - leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe.

Klassische Sprengstoffe wie Semptex, TNT, Dynamit und ähnliches sind in der ASSEKAT nicht dokumentiert und daher mit großer Wahrscheinlichkeit auch nicht in den rückgeholten Abfällen zu erwarten. Im Rahmen der Analyse der stofflichen Zusammensetzung wären diese jedoch, z. B. im Falle von Fehldeklarationen zum Zeitpunkt der Einlagerung, nachweisbar.

### 5.3.2 Stoffliche Zusammensetzung

Die stoffliche Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle ist notwendig, um eine Einteilung in Stoff- und Abfallproduktgruppen vorzunehmen sowie – sofern nötig – die Anforderungen der gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis des zukünftigen Endlagers zu erfüllen. Hierunter fällt insbesondere die verpflichtende Erfassung, Überwachung und Bilanzierung endzulagernder radioaktiver Abfälle hinsichtlich nichtradioaktiver wassergefährdender Stoffe.

Bislang liegen hierzu nur die Erfordernisse, die für die Einlagerung radioaktiver Abfälle in das Endlager Konrad verlangt werden, vor. Die genaue Auslegung der Anforderungen einer wasserrechtlichen Erlaubnis an die rückzuholenden radioaktiven Abfälle kann derzeit noch nicht dargestellt werden. Im Rahmen dieser Konzepterstellung wird sich daher auf die Anforderungen für das Endlager Konrad bezogen.

Die stoffliche Beschreibung und Deklarationen erfolgt über ein System von Stoffvektoren, welche in einer zentral geführten abfallspezifischen Stoffdatenbank, der sogenannten Stoff- und Behälterliste, erfasst werden und auf die Abfallverursacher bzw. Ablieferungspflichtige Zugriff erhalten [66]. Diese Liste wird fortlaufend aktualisiert.

Die Verwendung von aus der Abfallerzeugung bisher bekannten Stoffvektoren, die klar definiert und einheitlich vorliegen, wird für die Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle aufgrund der derzeitigen Kenntnislage in aller Regel nicht möglich sein. Hinzu kommt, dass sich die Stoffzusammensetzung auch zu einem gewissen Grad geändert haben kann und viele Einzelbeschreibungen der Stoffe für die Gebinde notwendig machen. Dieser Punkt ist bei der Konzeptionierung der stofflichen Deklarationsverfahren zu berücksichtigen. An der grundsätzlichen Anforderung, diese Stoffe bei der Charakterisierung zu erfassen, ändert die Art der Bilanzierung nichtradioaktiver schädlicher Stoffe jedoch nichts.

Auch die Bestimmung der stofflichen Homogenität bzw. Identifikation homogener Bereiche ist relevant für die Wahl der Anzahl von Proben.

Das Abfallmaterial muss neben den Stoffgruppen für die Endlagerung zudem einer (ggf. noch zu definierenden) Abfallproduktgruppe zugeordnet werden können, welche die zugehörigen Qualitätsmerkmale erfüllt und die sich vor allem auf die thermische und mechanische Stabilität der Abfallgebinde bezieht.

### 5.3.3 Nichtradioaktive, schädliche Stoffe

Die genauen Beschränkungen, unter denen die gehobene wasserrechtliche Erlaubnis für das Endlager Konrad erteilt wurde, werden in Anhang 4-1 des Planfeststellungsbeschlusses [67] aufgeführt. Dieser fordert insbesondere die Einhaltung folgender Nebenbestimmungen:

**Nebenbestimmung 1** legt die fortlaufende Erfassung und Bilanzierung der in den Abfallgebinden enthaltenen nichtradioaktiven schädlichen Stoffe nach Art und Menge fest. Hierbei sind die Massen dieser einzelnen Stoffe anzugeben.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 95



**Nebenbestimmung 2** macht es dem Betreiber zur Auflage, der zuständigen Wasserbehörde, hier dem Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), die jährlichen Daten über die tatsächliche Einlagerung in Form eines Jahresberichts vorzulegen.

Die fortlaufende Erfassung und Bilanzierung nach Art und Menge der tatsächlich eingelagerten Radionuklide und der nichtradioaktiven schädlichen Stoffe gemäß aller relevanten Bestimmungen dienen dazu, schädliche Einflüsse auf Mensch und Umwelt durch die Einlagerung von radioaktiven Abfällen zu verhindern. In der gehobenen wasserrechtlichen Erlaubnis wurden daher 94 Stoffe und Stoffgruppen zusammengefasst, die potenziell wassergefährdend sind. Dies sind sowohl Elemente (z. B. Quecksilber, Chrom, Thorium, Gold) wie auch spezifische chemische Verbindungen (z. B. Phosphorpentoxid oder Divinylbenzol) oder Stoffgruppen (z. B. PE, Biozide, Asbest, polychlorierte Biphenyle).

Die in [67] tabellierten Mengen beziehen sich auf ein Abfallgebindevolumen in Höhe von maximal 303.000 m<sup>3</sup> im Endlager Konrad und sind Abhängigkeit der zukünftig geltenden wasserrechtlichen Erlaubnis an das Endlager, in welches die rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachtanlage Asse II eingelagert werden, anzupassen.

Für diese Mengen sind die geltenden Grenzwerte in Grund- und Trinkwasser gemäß einschlägiger Regelwerke wie z. B. die Grundwasserverordnung [5] oder Trinkwasserverordnung [17] einzuhalten. Durch ein rechnerisches Vorgehen wurden für [67] stoffspezifische Deklarationsschwellwerte bestimmt, die den Massenanteil dieses Stoffes in einem Abfallgebilde angeben, bei dessen Unterschreitung eine nachteilige Veränderung des Grundwassers mit Sicherheit ausgeschlossen ist.

## 5.4 Radiologische Anforderungen (Messkategorie D)

### 5.4.1 Aktivität der Nuklide


Die Aktivitäten der im Endlager eingelagerten Radionuklide sind zu begrenzen, was auf den Sicherheitsanalysen, den relevanten Störfällen, der Kritikalität und der thermischen Beeinflussung des konkreten Wirtsgesteins beruht. Für das Endlager Konrad liegen hierzu eine Reihe von Vorschriften und Grenzwerten vor, die in [27] beschrieben sind. Hieraus folgen verschiedene Tabellen mit Grenzwerten für einzelne Radionuklide und/oder Radionuklidgruppen sowie in Abhängigkeit vom Abfallbehälter (Typ und Abfallbehälterklasse) bzw. der Abfallproduktgruppe, welche gem. [27] einzuhalten sind. Diese umfassen 108 Radionuklide, für welche Aktivitätsbegrenzungen gelten, sowie weitere Radionuklide ohne Begrenzungen, die ggf. ebenfalls zu berücksichtigen sind. Es gelten verschiedene Sätze von Grenzwerten aus den folgende Einzelanforderungen, die für jedes Nuklid alle (und somit immer auch die jeweils restriktivste Einzelanforderung) zu erfüllen sind:

- an den bestimmungsgemäßen Betrieb,
- aus den unterstellten Störfällen,
- aus der thermischen Beeinflussung des Wirtsgesteins,
- aus der Kritikalitätssicherheit sowie
- aus der maximal einlagerbaren Aktivität verschiedener, relevanter Radionuklide (siehe beispielhafte Auflistung in Anhang 4).

Die restriktivsten Grenzwerte sind beispielhaft in Anhang 4 dargestellt.

Aufgrund der Vielzahl der Nuklide und ihrer Grenzwerte, welche mehrere Größenordnungen umfassen, ist hier keine einheitliche Aussage über die technischen Anforderungen an die Aktivitätsbestimmung möglich, da hierfür jedes Nuklid einzeln betrachtet werden muss. Stattdessen ist es erforderlich, aus den Vorgaben die für die Charakterisierung kritischsten Randbedingungen zu erarbeiten, und so festzulegen, welche Verfahren/Techniken mit welcher Genauigkeit eingesetzt werden können, um die zur Herstellung endlagergerechter Abfallgebilde notwendigen Informationen aus den rückgeholten Abfällen zu gewinnen (siehe Kapitel 6).



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 96

Aufgrund der Vielzahl der zu berücksichtigenden Nuklide/Stoffgruppen kann dies nur in einem wechselwirkenden Prozess zwischen Betrachtung der Anforderungen, Detailplanung des Charakterisierungsprozesses und Auswahl/Design des zu verwendenden Equipments erfolgen. Dies lässt sich durch folgende Illustration veranschaulichen:

Die Messung aller 108 Nuklidaktivitäten nur mittels Gammaskopimetrie ist praktisch (und in einigen Fällen auch physikalisch) nicht realisierbar. Eine rein durch Probenahme durchgeführte Charakterisierung ist sehr aufwändig und nutzt nicht die Möglichkeit der Gesamtbinde bzw. Gesamtmaterialmessung aus, um die Repräsentativität der Probenahme zu optimieren. Zudem gibt es Messmethoden, welche für bestimmte Nuklide, z. B. spaltbare Stoffe, besonders geeignet sind. Außerdem besteht auch die Möglichkeit konservativer Schätzungen, sofern diese nur einen geringen Einfluss auf die Ausschöpfung der Gesamtgrenzwerte haben. Nur durch eine Kombination der verschiedenen, teilweise nuklidspezifischen Methoden wird sich daher eine belastbare radiologische Charakterisierung erreichen lassen.

Zur Eingrenzung und Abstimmung der Methoden untereinander und um die erforderlichen Anforderungen und Genauigkeitsgrenzen an die einzelnen Nuklidmessungen festzulegen, werden im Rahmen der Konzeptplanung mindestens die folgenden Betrachtungen durchgeführt (für Details siehe Kapitel 6.5 und 6.6):

- Unterteilung und Abgrenzung der Nuklide in Gruppen, für die jeweils eine unterschiedliche Nachweismethode notwendig bzw. optimal ist (z. B. Festlegung von „Schlüsselnukliden“ für Gammaskopimetrie sowie ausschließlich über Laboranalyse messbare Nuklide),
- Berücksichtigung/Ausschluss von Nukliden über das radiologische Gleichgewicht,
- Einzelprüfung besonders relevanter und kritischer Nuklide,
- kammer-spezifische Betrachtung des vorhandenen Inventars und der zu erwartenden Aktivitäten,
- Prüfung und Abwägung, ob konservative (überschätzende) Annahmen zum Inventar unvermeidbar oder ggf. sogar sinnvoll sind (siehe Kapitel 6.6).

Auch für die rückgeholten Abfälle aus der Schachanlage Asse II muss sichergestellt werden, dass die Aktivitäten der Nuklide für jedes zu erstellende Abfallbinde erfasst und bilanziert werden. Für rückgeholte Abfälle, für die hierzu keine Angabe erfolgen kann, muss ein bestimmter Anteil an der Grenzaktivität bei der Bilanzierung angesetzt werden. Dies führt jedoch zu einer konservativen und ggf. unrealistisch hohen Deklaration des jeweiligen Nuklidinhalts. Auch die Verwendung konservativer Abschätzungen im Charakterisierungsverfahren zur Bestimmung des Nuklidinventars kann zu einer Überschätzung des Aktivitätsinventars und somit zu sogenannten „Scheinaktivitäten“ führen. Diese sind gemäß den EBK nach Möglichkeit zu vermeiden. Dies kann durch eine möglichst genaue und vollständige Bestimmung der Aktivitäten aller Einzel-nuklide erfolgen, was mit langen Messzeiten und hoher Probenzahl einhergeht. Die Abwägung der Möglichkeiten und Darstellung der Vor- und Nachteile wird im Rahmen der Konzeptplanung dargestellt (siehe Kapitel 6.5 und 6.6).

#### 5.4.2 Spaltbare Stoffe und Uran

Generell ist eine Differenzierung zwischen kernbrennstoffhaltigen Abfällen und sonstigen radioaktiven Abfällen, mit denen gemäß § 12 StrlSchG umgegangen werden kann, erforderlich.

In den oben genannten Aktivitätsbegrenzungen sind auch spaltbare bzw. unter speziellen Bedingungen spaltbare Stoffe als relevante Radionuklide aufgeführt, insbesondere Uran- und Plutoniumisotope sowie höhere spaltbare Actinoide. Aus der Analyse zur Kritikalitätssicherheit ergeben sich Massenbegrenzungen für diese Stoffe, die als typische Größenordnung im Bereich zwischen 10 g und 50 g pro Binde liegen. Ferner wird unterschieden zwischen Anreicherungsgraden  $> 5\%$  und  $\leq 5\%$  (sowohl für U-233 als auch für U-235), wobei für  $> 5\%$  jeweils restriktivere Grenzwerte gelten. Diese Massenbegrenzungen gelten nicht für Natururan und abgereichertes Uran. Daher stellt sowohl die Ermittlung des Nuklids und seiner Masse als auch die Ermittlung des Anreicherungsgrads von Uran eine Anforderung an die Charakterisierung dar. In der Praxis müssen hier ggf. auch konservative Schätzungen herangezogen werden, sofern bei unklarer Datenlage die Erfüllung der Endlagerungsbedingungen nur auf diese Weise sichergestellt werden kann (z. B. die



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 97



Annahme des Nuklids mit den restriktivsten Anforderungen, sofern die genaue Nuklidzusammensetzung nicht bestimmt werden kann).

Aus Kritikalitätssicherheitsbetrachtungen folgen für diese Stoffe zudem noch Anforderungen in Bezug auf ihre Verteilung und Fixierung im Abfallmaterial. So sind insbesondere Vorschriften für die Verteilung der Stoffe im Abfallmaterial (also keine lokale Aufkonzentration im unzulässigen Bereich, auch unter thermischer Belastung), ihrer Fixierung im Gebinde sowie dem etwaigen Vorhandensein von Neutronen-Moderator- und Reflektormaterial einzuhalten.

## 6 Auswahl und Auslegung geeigneter Mess- und Hantierungsverfahren

In den folgenden Kapiteln werden den Messkategorien A bis D aus Kapitel 5 die im Konzept anwendbaren Mess- und Hantierungsverfahren zugeordnet, wobei diese gem. Kapitel 6.1 eingeteilt und unterschieden werden. Zu den einzelnen Verfahren erfolgen jeweils Angaben zu

- dem Ziel der Charakterisierung,
- der Funktionsweise,
- den Vor- und Nachteilen der Anwendung im Rahmen der Charakterisierung der rückzuholenden radioaktiven Abfälle,
- der Leistungsfähigkeit und dem Aufwand sowie
- der Marktverfügbarkeit (die Beurteilung der Marktverfügbarkeit stützt sich hierbei auf die Einschätzung, wie verbreitet die jeweilige Messtechnik derzeit unter den Anwendern ist und ob sie bereits zertifiziert ist oder sich noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase befindet).

Insbesondere für die Einhaltung der Endlagerungsbedingungen (hier werden ersatzweise die Endlagerungsbedingungen Konrad [27] herangezogen) werden Grenz-, Richt- und Bilanzierungswerte für die Aktivitäten aller relevanten Einzelnuclide bzw. Konzentrationen der Hauptelemente und (chemotoxischer) Verbindungen vorgegeben.

Eine vollumfassende Charakterisierung des gesamten rückgeholten radioaktiven Abfalls durch Messung aller erforderlichen Messgrößen würde folgende Vorgehensweise erfordern:

- die Öffnung aller geschlossenen Gebinde zur Probenahme und stofflichen Charakterisierung,
- die Bestimmung aller (ca. 100) relevanten Nuklidaktivitäten und Mengen an spaltbaren Stoffen sowohl durch zerstörungsfreie Methoden, als auch durch Probenanalyse, da nur ein bestimmter Teil der Nuklide zerstörungsfrei messbar ist.


Aufgrund der hohen Anzahl der zu betrachtenden Nuklide und Stoffe, welche sich zudem untereinander erheblich in ihren Eigenschaften und ihrer Messbarkeit unterscheiden, sind daher verschiedene Messverfahren kombiniert anzuwenden, um aussagekräftige Ergebnisse über die radiologische und stoffliche Zusammensetzung der rückgeholten Abfälle zu erlangen.

Zusätzlich sollte auch eine detaillierte Analyse und Überarbeitung bereits vorhandener Informationen (insbesondere aus der ASSEKAT) durchgeführt werden, mit dem Ziel, hieraus eine umfassende Einzelbetrachtung aller beteiligten Nuklide zu generieren, welche einen Teil der Messverfahren konservativ ergänzen (s. Kapitel 6.6). Die notwendige Kombination mit den Messverfahren muss dabei insbesondere im Hinblick auf die große Bandbreite der Abfallformen und -eigenschaften individuell bewertet werden.

Es werden nachfolgend diejenigen Mess- und Hantierungsverfahren ausgewählt, welche auf Basis des aktuellen Kenntnisstandes im Rahmen der Konzeptplanung die erforderlichen Nachweise für die in Betracht kommenden Entsorgungsziele (s. Kapitel 3.3.6) am effizientesten erbringen können. Dies resultiert in folgender Auswahl:

- Standardmessverfahren, welche für einen großen Teil der rückgeholten Abfälle zur Anwendung kommen können.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAAN	NNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 98

- Optionale Messverfahren, deren Anwendung nicht / nicht in allen Fällen als Standardverfahren sinnvoll ist, da z. B.
  - die Messung dafür aufgrund der Abfalleigenschaften zu aufwändig ist
  - diese nur für bestimmte Abfalltypen angewendet werden können
  - diese sich noch in der Entwicklungsphase befinden
 Diese Verfahren sind als spezielle Verfahren vorzusehen. Die Auslegung erfordert in den weiteren Planungen eine Abwägung des jeweiligen Einsatzes anhand detaillierter Analysen und Berechnungen zu den Messverfahren unter Berücksichtigung der Abfallgeometrien und Inventare
- Messverfahren, deren Einsatz auf Basis der aktuellen Kenntnisse zu den Abfalleigenschaften keinen Mehrwert an Informationen generieren und/oder durch leistungsstärkere Verfahren abgedeckt werden können, sollten nicht zum Einsatz kommen. Diese wurden bereits im Zwischenbericht beschrieben und sind hier dem Anhang 6 und Anhang 7 beigefügt.


Nachfolgend wird die für das Konzept getroffene Auswahl und Zuordnung der Messverfahren in Tab. 34 zusammengefasst und dies in den Kapiteln 6.1 bis 6.5 hinsichtlich Auslegung und Leistungsfähigkeit begründet. Die Auslegung bezieht sich dabei vor allem auf das Messgerätedesign, aber auch auf die Parallelisierung und Mehrfachausführung von Messstationen bzw. das Zusammenwirken verschiedener Messtechniken in einzelnen Messstationen. An einige Mess- und Hantierungsverfahren sind dabei relativ einfache Anforderungen zu stellen (z. B. die Gewichtsmessung), an andere Messverfahren können dagegen sehr komplexe Anforderungen an Auslegung und erforderliche Leistungsfähigkeit bestehen, um die benötigten Nachweise erbringen zu können (z. B. die Bestimmung der Nuklidaktivitäten).

Folgende, allgemeine Erläuterungen werden an dieser Stelle bezüglich der in diesem Kapitel dargestellten Übersichtstabellen gegeben:

- Es wird, soweit möglich, eine **für alle Verfahren konsistente Darstellung** verwendet.
- Die Mess- und Hantierungsverfahren, deren **Anwendung im Konzept** vorgesehen ist, sind fett gedruckt dargestellt.
- Die angegebenen **Messzeiten pro Zyklus** sind konservative Schätzwerte für die jeweiligen Verfahren, da die Messzeiten von der jeweiligen Abfallart, dem Messziel und der Nuklidzusammensetzung abhängt. Es handelt sich daher um typische Größenordnungen, nicht um exakte Zeitvorgaben. Die Messzeiten sind ferner als bezogen auf ganze IB oder EG zu verstehen (also nicht einzelne Messpunkte), sowie auf die reine Messdatenaufnahme und -auswertung am Messobjekt selbst (nicht die ggf. erforderliche Auswertung an anderer Stelle, Probentransport usw.).
- Bezüglich der Marktverfügbarkeit der einzelnen Verfahren wird die in Tab. 33 dargestellte Einteilung getroffen.

Tab. 33: Beurteilungsmaßstäbe der Mess- und Hantierungsverfahren hinsichtlich ihrer Marktverfügbarkeit.

<b>Einteilung Marktverfügbarkeit</b>	<b>Produktkategorie</b>	<b>Anzahl Anbieter</b>	<b>Produktverfügbarkeit</b>
<i>gut</i>	Standardequipment / Katalogware	Viele Anbieter	Ausgereifte und schnell erhältliche Produkte
<i>mittelmäßig</i>	Standardequipment bzw. Ware in Serienfertigung	Wenige und spezialisierte Anbieter	Etablierte und mit entsprechender Vorlaufzeit gut erhältliche Produkte
<i>begrenzt</i>	Spezialprodukte oder in Entwicklung befindlich	Nur einzelne Anbieter	Nur in geringer Stückzahl verfügbar oder wird nur auf spezielle Anforderung gefertigt

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd. Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der SchachanlageASSE II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 99

Tab. 34: Darstellung der Mess- und Handtierungsverfahren hinsichtlich ihres Einsatzes zur Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle.

Mess- / Handtierungsverfahren		Einsatz	Zerstörungsfrei	Beschreibung / Anmerkung
<b>A – Strahlenschutzrelevante Anforderungen</b>				
Dosisleistungs sonden (Geiger-Müller- und Proportionalzähler)		Standard- methode	Ja	ODL-Messung an allen Behandlungspunkten (insb. für Strahlenschutz und grobe Einschätzung des Aktivitätsniveaus)
Neutronenzählrohre		Standard- methode	Ja	
Wischtest / Kontaminationsmessgeräte (an der Umverpackung)		Standard- methode	Ja	Messung bei der Ausschleusung zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppung
<b>B – Mechanisch/Strukturelle Anforderungen</b>				
Wägung		Standard- methode	Ja	Gewichtsbestimmung (inkl. ggf. Schwerpunktbestimmung)
Mechanische Untersuchung		Nein	Nein	Kein sinnvoller Informationsgewinn
Röntgendurchstrahlung		Nein	Ja	Weniger leistungsfähig als Gamma-Tomographiemethoden
Digitale Gamma-Radiographie		Standard- methode	Ja	Zeiteffizientes Verfahren zur Abbildung der inneren Struktur
Transmissions-Computertomographie		Optional / Spezialfälle	Ja	Leistungsfähigste Tomographiemethode für erwartete Gebinde (potenzielle Abschirmungen etc.) mit größter Informationsausgabe, aber aufwändiger Messung
Neutronen-Radiographie		Optional / Spezialfälle	Ja	Aufwändigere Methode als Gamma-Tomographie. Sinnvoll als Ergänzung in Spezialanwendungen (kann schwere Abschirmungen durchdringen)
Streifenprojektions- und Laser-3D-Scan		Nein	Ja	Kein als relevant angesehener Informationsgewinn, kann aber bei Bedarf vorgesehen werden (ggf. auch zur Hilfe bei Dichtebestimmung oder Modellierung für Datenauswertung)
Beprobung der Gasphase auf flüchtige Gase und Dämpfe		Standard- methode	Nein	Hauptnachweismethode für potenziell enthaltene Flüssigkeiten, Explosivstoffe, Faulen/Gären
Druckentlastung und Einsatz von Überdruckventilen mit Sinterfilter		Standard- methode	Nein	Hauptmaßnahme zur Sicherstellung der Drucklosigkeit
Öffnung, Fernhandierte Manipulation und Sichtung		Standard- methode	Nein	Stoffliche und strukturelle Charakterisierungsmethode, die insbesondere für inhomogene Abfälle benötigt wird. Ebenfalls für leichte Reinigungs-/Abfalltrennungsarbeiten vorzusehen



Projekt NAAN	FSP-Element NNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AAANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd.Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II

rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 100

Mess- / Hantierungsverfahren		Einsatz	Zerstörungs-frei	Beschreibung / Anmerkung
<b>C – Chemisch/Stoffliche Anforderungen</b>				
Probenahme und Laboranalyse (Nass-Chemische Verfahren und Instrumentelle Analytik)	Standard-methode		Nein	Hauptverfahren zur quantitativen, stofflichen und chemischen Charakterisierung. Erfolgt i.d.R. zusammen mit radiochemischer Probenanalyse
Neutronen-Aktivierungsanalyse (Gebindemaßstab)	Optional / Spezialfälle		Ja	Aufwändiges Verfahren zur Bestimmung der Elementzusammensetzung, das aber nur für geringen Durchsatz (und damit Spezialfall-Untersuchungen) geeignet ist
<b>D – Radiologische Anforderungen</b>				
Gammastrahlungsmessung	Standard-methode		Ja	Hauptverfahren zur Aktivitätsbestimmung von Schlüsselnucliden
Gamma-Kamera	Optional / Spezialfälle		Ja	Kann bei der Abfallsortierung zur Echtzeit-Identifikation von Aktivitätsquellen (für Schlüsselnuclide) genutzt werden
Kalorimetrische Dosimetrie	Nein		Ja	Keine für die vorliegenden Abfälle sinnvolle Methode (nur für hohe Dosisleistungen geeignet)
Passive Neutronmessung	Standard-methode		Ja	Hauptverfahren für Nachweis und quantitative Bestimmung von spaltbaren Stoffen
Aktive Neutronmessung	Optional / Spezialfälle		Ja	Aufwändiges, aber leistungsfähiges Verfahren zur Bestimmung von spaltbaren Stoffen, das daher für Spezialfall-Untersuchungen eingesetzt werden sollte (Gamma- und Neutronmessung sollten kombiniert stattfinden)
Aktive Gammamessung (Neutroninterrogation)	Optional / Spezialfälle		Ja	
Passive Gammamessung des spaltbaren Materials	Nein (ist durch andere Verfahren abgedeckt)		Ja	In Spezialfällen, in denen dies möglich ist, geschieht automatisch eine Erkennung über die Standard Gammaspektrometrie-Messung. Das Verfahren ist i.d.R. ebenfalls Teil der radiochemischen Probenanalyse.
Probenahme und Laboranalyse (Radiochemische Analyse)	Standard-methode		Nein	Verfahren zur umfangreich abdeckenden Analyse der enthaltenen Radionuklide, allerdings probengebunden. Erfolgt i.d.R. zusammen mit stofflicher Probenanalyse.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 101

## 6.1 Einteilung der Messverfahren

Zur Ermittlung der in Kapitel 5 beschriebenen, relevanten Messgrößen sind zur Erreichung einer belastbaren und hinreichenden Charakterisierung verschiedene Messtechniken und deren Anwendung in geeigneten Messverfahren notwendig.

Die Messverfahren und -techniken können grundsätzlich danach unterteilt werden, inwiefern sie zerstörungsfrei angewandt werden können oder aber bei ihrer Anwendung der Abfall manipuliert, Abfallbehälter geöffnet oder teilweise auch Behälter- bzw. Abfallmaterial zerstört werden muss.

Bei der Auswahl der Messverfahren ist zu berücksichtigen, dass der rückgeholte Abfall in verschiedenen Geometrien und Zuständen vorliegen wird (s. Kapitel 2). Die zu messenden Geometrien können sich hierbei zwischen den verschiedenen Schritten der Charakterisierung und Konditionierung unterscheiden, wenn z. B. der rückgeholte Abfall vorbehandelt (z. B. zerlegt, gebrochen oder sortiert) oder umgepackt wird. Eine Einteilung der Messverfahren ist aufgrund der zu erwartenden Vielfalt an Geometrien und Abfallzusammensetzungen daher in folgenden Fällen nicht immer eindeutig in „zerstörungsfrei“ und „zerstörend“ möglich:

- Einige Verfahren sind immer zerstörungsfrei (z. B. Durchstrahlung, In-situ-Gamma-spektrometrie oder Dosisleistungsmessung).
- Einige Verfahren sind direkt am Abfallmaterial/Abfallprodukt anzuwenden, was bei losem oder ausgepacktem Abfallmaterial direkt zugänglich vorliegt, nicht aber bei intakten Abfallbehälter oder geschlossenen Innenbehältern.
- Die Probenahme erfordert die Entfernung eines Teils des Materials, was aber ggf. gerade bei losem Abfallmaterial oder Salzgrus keine Zerstörung im eigentlichen Sinne darstellt.

Im Rahmen der Konzeptplanung zur Charakterisierungsanlage wird daher zwischen den folgenden Messverfahren unterschieden:

- zerstörungsfreie Messverfahren, die keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern und
- Messverfahren, die den direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Diese Einteilung dient, neben der grundsätzlichen Einordnung der Messtechniken, auch den weiteren Planungen der Strahlenschutzmaßnahmen in Verbindung mit der Raumplanung, Gebäude- und Lüftungstechnik (z. B. können bei zerstörenden Messverfahren Maßnahmen zur Aerosolmessung, Staubminimierung und Abluftfilterung erforderlich werden).

### 6.1.1 Zerstörungsfreie Messverfahren ohne direkten Zugang zum Abfallmaterial


Zerstörungsfreie Messverfahren, die ganz auf eine mechanische Manipulation, Probeentnahme oder Zerstörung von Material verzichten, bieten folgende Vorteile:

- Keine repräsentative Probenahme erforderlich
- I. d. R. einfachere und weniger aufwändigere Messprozedur, sowohl mess- als auch handhabungstechnisch (da keine Manipulation und Schaffung eines direkten Zugangs erforderlich)
- Kein Expositions-, Freisetzungs- und Verschleppungsrisiko schädlicher Stoffe
- Keine Entstehung von Sekundärabfällen

Nachteile dagegen sind:

- Es kann im Vergleich zu zerstörenden Messungen i.d.R. nur ein kleinerer Satz an Messgrößen erfasst oder nur mit geringerer Genauigkeit bestimmt werden.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 102

- Die notwendigen Messzeiten können je nach Verfahren deutlich länger als bei zerstörenden Messungen ausfallen (insbesondere im hier relevanten radiologischen Bereich, in dem abschirmendes Material vorhanden ist).

Es bieten sich verschiedene zerstörungsfreie Analyseverfahren an, die die o.g. Vorteile bieten. Die möglichen Analyseverfahren unterscheiden sich jedoch sehr in ihrer technischen Entwicklung und ihrer Anwendbarkeit auf großvolumige Behälter. Während die Gammaskopimetrie von Abfallbehältern zur radiologischen Charakterisierung weit fortgeschritten ist, ist bei anderen radiographischen Verfahren oder der Neutronenaktivierungsanalyse die Entwicklung bzgl. der Charakterisierung von großvolumigen Abfallbehältern noch in einem frühen Stadium. Die Adaption dieser neueren Verfahren auf den genannten Anwendungszweck ist derzeit Forschungsinhalt einiger wissenschaftlicher Gruppen weltweit (siehe z. B. [68]). Die Entwicklung dieser Verfahren für endlagergerecht konditionierte und verpackte Abfälle bietet die Möglichkeit, die Charakterisierung radioaktiver Abfälle zu optimieren. Sie schreitet weiter voran und erste kommerzielle Anlagen kommen noch auf den Markt, diese sind allerdings noch nicht in einem lang etablierten und verbreiteten Zustand wie andere oben erwähnte Systeme.

### 6.1.2 Messverfahren mit direktem Zugang zum Abfallmaterial

Messverfahren, die einen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern, können – je nach Abfallart (z. B. an loseem Abfallmaterial) – den Charakter einer zerstörungsfreien Messung haben, während sie z. B. bei Behältern mit Rohabfall eine Öffnung/Zerstörung des Behälters erfordern und den zerstörenden Messungen zuzuordnen sind.

Zu dieser Einteilung zählen auch alle Messverfahren, welche eine Probenahme erfordern. Bei den rückgeholtten Abfällen ist eine solche Probeentnahme unter entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen (hier i. d. R. fernhantiert) durchzuführen.


Auch bei einer vollautomatischen Probeentnahme stellt sich immer die Frage der Repräsentativität der Probe. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass die radiologische und stoffliche Verteilung in den Abfällen heterogen ist. Somit ist bereits zur Verifizierung der Homogenität eine Probenahme an mehreren Stellen nötig. Eine pauschale Angabe zur Anzahl der Proben kann aufgrund der Vielfalt der zu erwartenden Abfälle an dieser Stelle nicht getroffen werden. Dies muss für Einzelkategorien (z. B. für bekannte Stoffströme) oder sogar für Einzelfälle betrachtet werden. Daher sollten der Probenahme bildgebende Messungen (z. B. Tomographie in Verbindung mit gamma-spektroskopischen Messungen) vorausgehen, welche Aufschluss über die Material- und Dichteverteilung liefern können. Anhand dessen können die Anzahl und Lokalität der Probenahme an den einzelnen rückgeholtten Abfallchargen repräsentativ gewählt werden.

Auch für belastbare Aussagen über Feuchtigkeit oder Gärprozesse im rückgeholtten radioaktiven Abfall ist eine Probenahme erforderlich. Gleiches gilt für die Messung reiner Alpha- und Betastrahler, welche aufgrund ihrer geringen Reichweite und der ggf. hohen Abschirmung durch das Behältermaterial nicht ausschließlich zerstörungsfrei detektiert werden können.

### 6.2 Strahlenschutzrelevante Messverfahren (Messkategorie A)

Das Messziel der Messverfahren zu Kategorie A ist die Bestimmung der Ortsdosisleistung (ODL) in verschiedenen Positionen relativ zum Abfall, sowie der nicht fest haftenden Kontamination auf der Oberfläche der rückgeholtten radioaktiven Abfälle. Die Bestimmung der ODL ist zwingend erforderlich für die Hantierbarkeit und dient zudem als Zusatzinformation für die weiteren Schritte der Charakterisierung (z. B. als Hinweis auf die Aktivitätsverteilung im Gebinde oder als Hochrechnung von Ergebnissen aus In-situ-Gamma-Messungen auf das Gesamtgebinde). Die Messungen dienen ferner der Einhaltung des betrieblichen Strahlenschutzes im Rahmen der Charakterisierung und der weiteren Umgangsschritte.

Die Messergebnisse sind jedoch nicht direkt übertragbar auf das endzulagernde Abfallgebäude, sondern müssten, sofern eine Offenlegung der Abfälle erforderlich wird - an diesem aus Strahlenschutzgründen wieder neu erhoben werden.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 103

### 6.2.1 Auswahl der Messverfahren

Für die Bestimmung der strahlenschutzrelevanten Anforderungen (Messkategorie A) können die in Tab. 35 zusammengestellten zerstörungsfreien Messverfahren, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern, zur Anwendung kommen. Zusätzlich stehen auch Messverfahren, welche einen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern, zur Verfügung (s. Tab. 36).

Die geeigneten Messverfahren, deren Auslegung und erforderliche Leistungsfähigkeit im nachfolgenden Kapitel 6.2.3 beschrieben werden und somit einen gewählten Teil der Konzeptplanung darstellen, sind in der Tab. 35 bzw. Tab. 36 fettgedruckt hervorgehoben (für Messkategorie A werden alle nachfolgend genannten Messverfahren in der Konzeptplanung berücksichtigt).

Tab. 35: Überblick über mögliche zerstörungsfreie Messverfahren der Messkategorie A, die keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
<b>Dosisleistungs-sonden (Geiger-Müller- und Proportional-zähler)</b>	Ortsdosisleistung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	y		α, β, n	10-30 Min.	100 nSv/h – 100 Sv/h (abhängig vom gewählten Equipment)
<b>Neutronenzählrohre</b>	Ortsdosisleistung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	n		α, β, γ	10-30 Min.	nSv/h - μSv/h Bereich (nuklidabhängig, daher schwer quantifizierbar)


α: Alphaemitter  
β: Betaemitter  
γ: Gammaemitter  
n: Neutronen

Tab. 36: Überblick über mögliche Messverfahren der Messkategorie A, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
<b>Oberflächenkontaminationsmessgeräte und Wischtests</b>	Oberflächenkontamination	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> </ul>	α, β, γ		n	10 Min.	bis 2.000 cps für Alphastrahlung, bis 20.000 cps für Beta-/Gammastrahlung.

α: Alphaemitter  
β: Betaemitter  
γ: Gammaemitter  
n: Neutronen



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 104

### 6.2.2 Marktverfügbarkeit

Dosisleistungs sonden, Oberflächenkontaminationsmessgeräte und Wischtesteinrichtungen sind weitläufige Standardprodukte im Bereich der radiologischen Charakterisierung sowie des Strahlenschutzes und werden im gesamten kerntechnischen Bereich eingesetzt. Es gibt eine entsprechend große Auswahl durch eine Reihe nationaler und internationaler Anbieter (s. Tab. 37).

Tab. 37: Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Messverfahren zu Messkategorie A.

Verfahren	Marktverfügbarkeit	Hersteller (Beispiele)	marktbeteiligte Institute, Anwender, Erfahrungsträger
Dosisleistungs-sonden (Geiger-Müller- und Proportional-zähler)	gut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vacutec GmbH</li> <li>- Thermo Fisher Scientific</li> <li>- Berthold Technologies GmbH</li> <li>- FST Freiburger Sensor Technik</li> <li>- Mirion / Canberra</li> <li>- NUVIATech Instruments GmbH / SEA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schrottplätze,</li> <li>- Kernkraftwerke,</li> <li>- Forschungszentren</li> </ul>
Neutronen-zählrohre	begrenzt <sup>4</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vacutec GmbH</li> <li>- GBS Elektronik GmbH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schrottplätze,</li> <li>- Forschungszentrum Karlsruhe,</li> <li>- Rossendorfer Forschungsreaktor</li> </ul>
Wischtest / Kontaminations-messgeräte	gut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berthold Technologies GmbH</li> <li>- FST Freiburger Sensor Technik</li> <li>- Mirion / Canberra</li> <li>- NUVIATech Instruments GmbH / SEA</li> <li>- Graetz Strahlungsmesstechnik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schrottplätze,</li> <li>- Kernkraftwerke,</li> <li>- Forschungszentren</li> </ul>

### 6.2.3 Funktionsweise und Einsatz der Messtechnik

Die Messung der strahlenschutzrelevanten Größen erfolgt mit standardisierten Messverfahren, welche bereits seit vielen Jahren im kerntechnischen Bereich eingesetzt werden. Eine Abdeckung der erwarteten Messbereiche ist hierdurch gegeben, weshalb keine besonderen Spezifikationen der nachfolgend aufgeführten Messverfahren notwendig sind.


#### 6.2.3.1 Dosisleistungs sonden (Geiger-Müller- und Proportionalzählrohre)

Die Ortsdosisleistung an der Oberfläche der Gebinde wird als weitaus gängigste Methode mit Geiger-Müller- oder Proportionalzählrohren gemessen. Die Bestimmung erfolgt durch die zählende Messung der Ionisation, die durch die Gamma-Strahlung in der Sonde erzeugt wird, ohne auf die Gamma-Energie sensitiv zu sein. Eine entsprechende Kalibrierung und Kompensierung der Sonden führt zu einer möglichst genauen Bestimmung der Dosisleistung, wenn nötig auch mit konservativen Annahmen. Für die Messung von Alpha-, Beta- und Neutron-Strahlung sind die Sonden nicht geeignet (bei Alpha und Beta aufgrund der geringen Reichweiten dieser Strahlungsarten, bei Neutronen aufgrund des fehlenden Ansprechvermögens, mit Ausnahme speziell modifizierter Neutron-Zählrohre).

Die Sonden können sowohl nahe der Gebindeoberfläche als auch in größeren Abständen (z. B. in 1 m oder 2 m) platziert werden. Typische Messanordnungen findet man bei marktüblichen Fass- und Container-Messanlagen. Es handelt sich um relativ preiswerte Geräte im Vergleich zu komplexeren Messgeräten (wie z. B. Gammaskpektrometer), die daher vielfältig auch in größerer Stückzahl zur durchsatzeffizienten Charakterisierung eingesetzt werden können. Ihr verfügbarer

<sup>4</sup> z. T. sehr geringe und nicht gesicherte Verfügbarkeit von He-3 auf dem Weltmarkt (hohe Anschaffungskosten)

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 105
--	------------

Messbereich liegt je nach Modell zwischen 100 nSv/h und 100 Sv/h und deckt somit einen weiten Bereich der zu erwartenden Größenordnungen der rückzuholenden Abfälle ab (vgl. Kapitel 2.1.2). Zur Messung höherer Dosisleistungen können folgende Messmethoden zum Einsatz kommen:

- Kalorimetrische Dosisleistungsmessung (s. Anhang 7)
- Messung der Dosisleistung mit bekannter Abschirmung des Detektors
- Verwendung speziell konstruierter Equipments
- Extrapolation aus schwächeren Messwerten in größeren Entfernungen

### 6.2.3.2 Neutronenzählrohre

Um die aus der Neutronenstrahlung resultierende Ortsdosisleistung zu bestimmen, können Neutronenzählrohre verwendet werden, die sowohl thermische als auch schnelle Neutronen messen – abhängig von der Anordnung des Moderators. Zur Messung von thermischen Neutronen wird das Zählrohr mit einem dicken Zylinder aus moderiertem Material (z. B. Polyethylen) umgeben. Der Messbereich ist nuklidabhängig und nicht generell quantifizierbar, aber liegt meist in der Größenordnung von nSv/h -  $\mu$ Sv/h und aufwärts.

Folgende Messtechniken zur Neutronendetektion kommen im Rahmen der Charakterisierung von radioaktiven Stoffen bzw. Abfällen u. a. zur Anwendung [70]:

- **Neutronendetektion mit He-3-Gas gefülltem Proportionalzählrohr:**  
Die Detektionseffizienz für Neutronen hängt von dem He-3-Gasdruck, üblicherweise 2 bis 10 bar und der angelegten Hochspannung ab. Für Neutronen höherer Energie nimmt aufgrund des abnehmenden Wirkungsquerschnittes die Nachweiswahrscheinlichkeit kontinuierlich ab. In diesen Proportionalzählrohren werden häufig zusätzlich Argon als Inertgas und kleinste Mengen an CO<sub>2</sub> als „Quenchgas“ eingesetzt. Um die Detektionswahrscheinlichkeit für schnelle Neutronen zu erhöhen, kann der He-3-Detektor von einem geeigneten Moderator (z. B. Polyethylen) umgeben werden.
- **Neutronendetektion mit BF<sub>3</sub>-Gas gefülltem Proportionalzählrohr:**  
BF<sub>3</sub>-Detektoren reagieren fast ausschließlich auf langsame (niederenergetische) Neutronen. Um schnelle Neutronen detektieren zu können, kann die BF<sub>3</sub>-Röhre von einem geeigneten Moderator umgeben werden. Die Dicke des Moderators (z. B. Polyethylen) kann im Bereich von 2,5 bis 15 cm liegen, abhängig von dem Neutronenenergiespektrum und anderen Einschränkungen.
- **Neutronendetektion mit B-10 beschichtetem Proportionalzählrohr:**  
Das Proportionalzählrohr ist innenwandseitig mit B-10 beschichtet, um die Verwendung des toxischen BF<sub>3</sub>-Gases zu vermeiden. Die Neutronen reagieren mit der beschichteten Innenwand.


### 6.2.3.3 Oberflächenkontaminationsmessgeräte

Die Oberflächenkontamination wird üblicherweise durch auf dem Markt weit verbreitete Hand- bzw. Teleskopmessgeräte mit Plastikszintillationsdetektor bestimmt. Dieser wird direkt an der Oberfläche entlanggeführt, da aufgrund der geringen Reichweite nur dort Alpha- und Beta-Strahlung direkt detektiert werden kann. Das Messgerät erkennt getrennt voneinander die Gesamtzählrate der auftretenden Alpha- sowie Beta- und Gamma-Strahlung, die allerdings in dieser Form nicht (ohne Vorwissen) der energiespezifischen Nuklididentifikation dienen kann. Ferner ist auch die Nachweiseffizienz stark nuklidabhängig. Daher ist anstelle konkreter Aktivitäts- oder Dosisleistungsrichtwerte das Einhalten von direkten Grenzwerten für diese Zählraten weitgehend üblich, um Kontaminationsfreiheit nachzuweisen (bzw. bei bekannter Nuklidzusammensetzung der dazu umgerechneten Aktivität pro Fläche). Der Messbereich liegt im Bereich von bis zu 2.000 cps (*counts per second*) für Alpha und bis zu 20.000 cps für Beta-/Gamma-Strahlung.

### 6.2.3.4 Wischtests und deren Auswertegeräte

Bei Wischtests wird unter Einhaltung vorgegebener Vorschriften eine nichthaftende Materialmenge durch ein Pad o. ä. von einer Oberfläche entnommen, so dass von diesem Pad auf die vorhandene



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 106

Kontamination auf der Oberfläche geschlossen werden kann. Der Nachweis der Kontamination mit alpha- sowie beta- und gammastrahlenden Emittlern auf dem Pad erfolgt, wie bei den Oberflächenkontaminationsmessgeräten, üblicherweise mittels stationärer Auswertegeräte. Die zu den Oberflächenkontaminationsmessgeräten aufgeführten Messbereiche sind auf die Auswertegeräte der Wischtests übertragbar.

#### 6.2.4 Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage

**ODL-Messungen** sind in jedem Fall bei Ein- und Ausschleusung der IB sowie an den Messanlagen vorzusehen. Entsprechende Überwachungsmonitore sind zum Personenschutz an den erforderlichen Bereichen in der Anlage vorzusehen.

**Kontaminationsmessungen** sollten immer bei Beladung der UV im Rahmen der Ausschleusung vorgenommen werden, sowie optional auch als Kontrollmessung während der Einschleusung.

#### 6.3 Mechanische/strukturelle Mess- und Hantierungsverfahren (Messkategorie B)

Die Messziele der mechanischen/strukturellen Mess- und Hantierungsverfahren (Messkategorie B) sind:

- Prüfung auf und ggf. Herstellung der Drucklosigkeit,
- Prüfung der Konsistenz des Abfallmaterials sowie auf Flüssigkeiten und Gase,
- Wägung und ggf. weitere Bestimmung mechanischer Eigenschaften,
- Bestimmung der inneren Struktur des Abfalls in Behältern sowie
- ggf. Dokumentation des Behälterzustands des rückgeholtten radioaktiven Abfalls (sofern nicht bereits unter Tage in der jeweiligen Einlagerungskammer geschehen).

##### 6.3.1 Auswahl der Mess- und Hantierungsverfahren

Tab. 38 enthält eine Übersicht über die möglichen zerstörungsfreien Mess- und Hantierungsverfahren, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern. In Tab. 39 sind diejenigen Mess- und Hantierungsverfahren zusammengestellt, welche, einen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.


Die geeigneten Mess- und Hantierungsverfahren, deren Auslegung und erforderliche Leistungsfähigkeit im nachfolgenden Kapitel 6.3.2 beschrieben werden und somit einen gewählten Teil der Konzeptplanung darstellen, sind in der Tab. 38 bzw. Tab. 39 fettgedruckt hervorgehoben. Mess- und Hantierungsverfahren der Messkategorie B, welche die geforderten Messgrößen ebenfalls bestimmen können, aber im Rahmen der weiteren Konzeptplanung nicht berücksichtigt werden, da

- deren Einsatz keinen Mehrwert an Informationen bietet und/oder
- diese bereits durch leistungsstärkere Verfahren abgedeckt werden,

sind in Anhang 6 beigefügt. Im Rahmen der Entwurfsplanung stehen die Informationen zu diesen Messverfahren somit bei Bedarf ebenfalls zur Verfügung.

Tab. 38: Überblick über mögliche zerstörungsfreie Mess- und Hantierungsverfahren der Messkategorie B, die keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	Typische Messzeit pro Mess-zyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
<b>Wägung</b>	Gewicht	– Umverpackung – Innenbehälter – 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt) – VBA – lose Abfälle – Salzgrus	1 Min.	k.E.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	Typische Messzeit pro Mess-zyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
Mechanische Untersuchung	Gewicht, Dichte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	30 Min.	k.E.
Röntgendurchstrahlung	Dichte, innere Struktur, Flüssigkeitsanteile, Abschirmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt)</li> <li>- VBA</li> </ul>	0,5 - 1,0 Std.	k.E.
Digitale Gamma-Radiographie	Dichte, innere Struktur, Flüssigkeitsanteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt)</li> <li>- VBA</li> </ul>	1 Std.	k.E.
Transmissions-Computer-tomographie	Dichteverteilung (mittlere und lokale Dichte), innere Struktur, Flüssigkeitsanteile, Hohlräume, Abschirmungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt)</li> <li>- VBA</li> </ul>	2-4 Std.	k.E.
Gamma-Neutronen-Radiographie	Dichte, Detektion wasserstoffhaltiger Materialien	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt)</li> <li>- VBA</li> </ul>	2 Std.	k.E.
Streifenprojektions- und Laser-3D-Scan	geometrische Abmessung der Oberfläche	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> </ul>	10 Min.	k.E.

k.E: keine Einschränkungen

Tab. 39: Überblick über mögliche Mess- und Hantierungsverfahren für Messkategorie B, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	Typische Messzeit pro Messzyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
Einsatz von Überdruckventilen mit Sinterfilter	Druck, Explosivität	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt)</li> <li>- VBA<sup>1)</sup></li> </ul>	30 Min.	k.E.
Öffnung, Fernhantierte Manipulation und Sichtung	innere Struktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/beschädigt)</li> <li>- VBA<sup>1)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> </ul>	1,5 - 2,5 Std.	k.E.

<sup>1)</sup>: nur bei Freilegung des Fasses  
k.E: keine Einschränkungen



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 108



### 6.3.2 Marktverfügbarkeit

Bei den Einrichtungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften einer Probe, insbesondere der Wägung und Hantierung, kommen alle gängigen Anbieter klassischer maschinentechnischer Ingenieurdienstleitungen in Frage, daher stehen hier sehr viele Anbieter zur Verfügung. Radiologische Durchstrahlung ist ebenfalls weit verbreitet zur Messung von Behälterfüllungen, zerstörungsfreier Prüfungen etc. Für radiographische Tomographie hingegen müssen spezielle Systeme entworfen werden, deren Verfügbarkeit auf dem Markt daher begrenzt ist.

Manipulationseinrichtungen und Heiße Zellen sind im kerntechnischen Bereich weit verbreitet und werden insbesondere für den Umgang mit hochradioaktiven Substanzen eingesetzt.

Eine Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Messverfahren zu Messkategorie B ist in Tab. 40 dargestellt.

Tab. 40: Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Mess- und Hantierungsverfahren zu Messkategorie B.

Verfahren	Marktverfügbarkeit	Hersteller (Beispiele)	marktbeteiligte Institute, Anwender, Erfahrungsträger
Wägung	gut	– Shimadzu – Deutschland GmbH – MTS MessTechnik – Sauerland GmbH	
Mechanische Untersuchung	gut	Galdabini	
Röntgendurchstrahlung	gut	X-ray Online	Schrottplätze, Umschlagsplätze
Digitale Gamma-Radiographie	mittelmäßig	IT-Service Leipzig	TU München (RCM, Garching)
Transmissions-Computertomographie	begrenzt	Forschungsgegenstand	TU München (RCM, Garching)
Neutronen-Radiographie	begrenzt	Phoenix	– TU Dresden, – FZJ, – RWTH Aachen, – Siemens AG: NISRA
Streifenprojektions- und Laser-3D-Scan	gut	– Sturm Industries – Artec Europe – Keyence – Conap GmbH – LMI Technologies	Vielfältig verbreitete Anwendung in industrieller Fertigung, Design, Medizin etc.
Einsatz von Überdruckventilen mit Sinterfilter	mittelmäßig	Omeca	
Öffnung, fernhantierte Manipulation und Sichtung, Hantierungs- und Heiße Zellen	begrenzt	– Leba – Lödige	Industrielle Abfallbehandlungsanlagen, Kerntechnische Institute


### 6.3.3 Funktionsweise und Einsatz der Mess-/Hantierungstechnik

Für den Einsatz aller hier genannten, radiographischen Verfahren sind i. d. R. starke radioaktive Prüfquellen (u. a. HASS - „High-Activity Sealed Radioactive Sources“) bzw. Strahlungsgeneratoren erforderlich. Diese sind in den Messanlagen größtenteils abgeschirmt, sie erfordern jedoch in jedem Fall ein entsprechendes Strahlenschutzkonzept, geschulten Umgang und die entsprechenden Umgangsgenehmigungen (s. Kapitel 3.2.2).

#### 6.3.3.1 Wägung

Die Wägung ist eine einfache und standardisierte Messung, die an allen Behältern mit rückgeholtem radioaktiven Abfällen mit Hilfe von etablierten und marktüblichen Mitteln (z. B. einem Kran- und Plattformwaagen) durchgeführt werden sollte. Dazu gehört auch die

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 109
--	------------

Schwerpunktbestimmung, die Zusammen mit der Konditionierung für die Herstellung transport- und endlagerfähiger Gebinde von Bedeutung ist. Auch diese kann mit entsprechend konzipierten Wägesystemen durchgeführt werden.

### 6.3.3.2 Digitale Gamma-Radiographie

Die digitale Gamma-Radiographie (GR) ist ein bildgebendes Transmissionsverfahren, bei dem der rückzuholende radioaktive Abfall mittels einer kollimierten intensiven Gamma-Strahlenquelle durchleuchtet wird. Die Messung mittels Gamma-Radiographie entspricht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Als Quellen der Photonenstrahlung dienen entweder radioaktive Isotope oder Linearbeschleuniger. Die Photonenenergie ist bei den Radioisotopen begrenzt, typische Energien sind zum Beispiel für eine Co-60-Quelle 1.173 keV und 1.332 keV. Die Isotope Ir-192 und Se-75 werden ebenfalls häufig als Gammastrahlenquelle verwendet. Die Energie dieser Quellen erzeugt eine hinreichende Bildqualität.

Mit Linearbeschleunigern könnten wesentlich höhere Energien erzielt werden. So werden bei großen Anlagen beispielsweise Photonenenergien (Bremsstrahlung) im GeV-Bereich erreicht. Diese Energien sind dafür geeignet, starke Abschirmungen zu durchdringen. Die Errichtung einer solchen Anlage stellt allerdings einen sehr großen Aufwand dar, der in keiner Relation zu dem Nutzen steht. Diese Methode stellt zudem auch kein gängiges Charakterisierungsverfahren dar und würde für einen Einsatz in der Abfallbehandlungsanlage zusätzlichen Forschungsbedarf benötigen. Im Rahmen der Konzeptplanung wird der Einsatz von Linearbeschleunigern daher nicht weiter betrachtet.

Der Unterschied der GR zu der in der medizinischen Diagnostik oder in der Materialprüfung eingesetzten konventionellen Röntgenbildaufnahmetechnik liegt in der Verwendung von einem oder mehreren Gamma-Detektoren anstelle von Röntgenfilmen. Die durch den Rohabfall geschwächte Gamma-Strahlung der Transmissionsquelle wird mit den Detektoren diskret (digital) abgetastet. Die gemessenen Transmissionsprofile werden in ein Radiogramm, auch Schattenbild genannt, umgerechnet, das die mittlere Dichte des rückzuholenden radioaktiven Abfalls entlang des Strahlwegs darstellt. Die Abschwächung der Gamma-Quanten in der Materie hängt von der Ordnungszahl der mit den Gamma-Quanten wechselwirkenden Atomkerne und hieraus abgeleitet in guter Näherung von der Materialdichte ab. Die Radiogramme liefern Informationen über

- die geometrischen Abmessungen,
- den Befüllungsgrad,
- die inneren Strukturen,
- das Vorhandensein von freien Flüssigkeiten und
- die vertikale Verteilung der mittleren Dichte (Profildichte).

Die mittlere Profildichte ergibt sich aus den mittleren Gamma-Abschwächungskoeffizienten der Elemente entlang des Strahlwegs. Mittels GR können das tatsächliche Volumen des Abfalls und die für Korrekturen notwendige Gamma- und ggf. Neutronen-Abschwächung der radiologischen Messung bestimmt werden. Zusätzlich können aus der Profildichte Informationen für nachfolgende strukturelle und stoffliche Messungen abgeleitet werden.

Die digitale Gamma-Radiographie bietet beim Einsatz einer entsprechenden Zahl von Detektoren die Möglichkeit, 2D-Abbildungen von IB-Strukturen in Messzeiten von 15 bis 30 Minuten zu liefern. Da sich insbesondere Einzelgebände innerhalb der IB bildlich überlagern können, sind mehrere solcher Aufnahmen aus verschiedenen (mind. 2) Perspektiven durchzuführen.

Von den verfügbaren tomographischen Methoden (s. Tab. 38) ist digitale Gamma-Radiographie somit bevorzugt anzuwenden, da es sich bei vielen Abfällen um stärker abgeschirmtes Material handelt und z. B. die Röntgen-Tomographie aufgrund dieser Abschirmwirkungen keine aussagekräftigen Messergebnisse liefern kann. Da es sich um tomographische Aufnahmen einer sehr großen Zahl von IB handeln wird, ist der Betrieb von solchen Anlagen auch aus wirtschaftlichen Aspekten sinnvoll, weil sich innerhalb kurzer Messzeiten zweidimensionale Abbildungen der inneren Struktur erzeugen lassen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 110

### 6.3.3.3 Transmissions-Computertomographie

Die Transmissions-Computertomographie (TCT) ist ein bildgebendes Verfahren, bei welchem der rückzuholende radioaktive Abfall mittels einer kollimierten intensiven Strahlenquelle durchstrahlt wird. Gemessen wird die Transmission der Strahlung. Dabei wird der zu messende rückgeholte radioaktive Abfall hinsichtlich der Strahlrichtung sowohl gedreht als auch verschoben. Im Allgemeinen wird die Transmission der Gammastrahlung mit dem gleichen Detektorsystem nachgewiesen, das auch bei der GR eingesetzt wird. Aus der Vielzahl der aufgenommenen Transmissionsdaten wird mit Hilfe eines iterativen mathematischen Algorithmus die räumliche Verteilung der Dichte in der betrachteten Schnittebene berechnet und in Form eines Tomogramms bildlich dargestellt. Im Vergleich zu der GR besitzt die TCT einen höheren Informationsgehalt bei gleichzeitig höherem Aufwand.

Die Tomogramme liefern Informationen über die Zusammensetzung der rückgeholten Abfälle, z. B.

- innere Behälter,
- mittlere und lokale Dichte,
- Hohlräume,
- Vorhandensein von Flüssigkeiten und
- abschirmende Strukturen.

Die rückgeholten Abfälle können aufgrund ihrer Dichte einzelnen Materialklassen zugeordnet werden, sofern dies auf Basis bereits bekannter Informationen in dem konkreten Fall möglich ist. Die Bestimmung von Bereichen verschiedener Materialien mit gleicher oder sehr ähnlicher Dichte bzw. eine zweifelsfreie Zuordnung aller Materialien zu Materialklassen können mit dieser Methode nicht erfolgen.

Die (Gamma-)Transmissions-Computertomographie erstellt im Vergleich zu der digitalen Gamma-Radiographie (s. Kapitel 6.3.3.2) 3D-Abbildungen und ist bislang für die Messung zylindrischer Gebinde konzipiert worden. Diese Methode kann daher als Spezialmessstation für gezielte, spezifisch veranlasste Detailmessungen (ggf. nach Einstellen intakter rückgeholter Abfälle in ein Überfass) zur Anwendung kommen.

### 6.3.3.4 Gamma-Neutronen-Radiographie

Bei der Methode der Radiographie wird der rückgeholte radioaktive Abfall mittels ionisierender Strahlung durchstrahlt und das resultierende Abbild aufgenommen. Wesentliche Bestandteile einer Radiographie-Anlage sind somit eine Strahlungsquelle und ein Detektorsystem. Der zu untersuchende Abfall befindet sich zwischen diesen beiden Komponenten. Zur Verarbeitung der Detektordaten zu Bildern sind zudem noch Auswertungs elektronik und Auswertungssoftware nötig. Man unterscheidet die radiographischen Verfahren hinsichtlich der Messung von Gamma- oder Neutronen-Strahlung.

Im Gegensatz zu der Röntgendurchstrahlung hängt bei der Gamma- und Neutronen-Radiographie die Abschwächung der Neutronen nicht primär von der Materialdichte ab (wie es bei Gamma-Strahlung der Fall ist, die relativ ähnliche Absorptionseigenschaften für die meisten Materialien hat), sondern v.a. vom Vorhandensein leichter Elemente.

Die Gamma-Radiographie ermöglicht hauptsächlich eine Detektion von schweren Materialien wie Metallen. Durch höherenergetische Gammastrahlung können aufgrund der geringeren Absorption im Vergleich zur Röntgendurchstrahlung zudem stärkere Abschirmungen effektiv durchdrungen werden. Die Methoden erfordern dazu allerdings insbesondere bei der Anwendung der Neutronen-Radiographie aufwändigeres Detektionsequipment und den Einsatz von installierten Strahlenquellen.

Bei einer Durchleuchtung mit Neutronen wechselwirken diese unterschiedlich im Vergleich zu Gamma-Quanten: Materialien, die z. B. viel Wasserstoff enthalten, streuen Neutronen besonders stark. Einige leichte Materialien wie z. B. Bor schirmen Neutronen gut ab, während viele Metalle mit einer höheren Dichte von Neutronen durchdrungen werden können.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 111



Einige Materialien können von Neutronen besser als von Gamma-Quanten durchdrungen werden, weshalb die radiographischen Verfahren in Abhängigkeit der Elementarzusammensetzung eines Abfallbehälters einen unterschiedlichen Informationsgehalt erbringen. Eine kombinierte Anwendung dieser Verfahren ist daher sinnvoll.

Als in der Praxis einsetzbare Quelle für die Neutronen können Radioisotope und/oder Neutronengeneratoren dienen. Die Detektion von Neutronen ist aufwändiger als die von Photonen und stellt höhere Ansprüche an das Detektorsystem. Einen bedeutenden Einfluss auf das Verfahren hat die Energie der Quellneutronen. So werden vor allem „kalte“, das heißt niederenergetische Neutronen dazu genutzt, die Verteilung von wasserstoffhaltigen Materialien zu ermitteln, wie z. B. die Verteilung von Schmieröl in Verbrennungsmotoren.

Durch die Anwendung beider Verfahren lässt sich ein synergetischer Informationsgewinn für eine radiologische oder stoffliche Charakterisierung erzielen.

### 6.3.3.5 Manipulierende Verfahren innerhalb von Hantierungszellen und Heißen Zellen

Wie unter Kapitel 4.5.4 als Randbedingung der Abfallhantierungsformen erläutert, sind alle Bearbeitungsschritte, bei welchen IB geöffnet oder das rückgeholte Abfallmaterial direkt manipuliert werden muss, unter Einsatz von gängigem Fernhantierungsequipment und in abgeschlossenen Hantierungszellen und Heißen Zellen durchzuführen.

Hinsichtlich der Auslegung dieser Technik ist hier insbesondere der erforderliche Durchsatz in Verbindung mit der Anzahl und Dimensionierung des zu konzipierenden Equipments relevant, welches sich zum einen an den Abfallgeometrien und zum anderen insbesondere an der noch durchzuführenden Auslegung der Konditionierungsbereiche ausrichten muss.

Relevante Mess- und Konditionierungsverfahren zur Vorbereitung (weiterer) Charakterisierungsschritte, welche innerhalb der Hantierungszellen vorzusehen sind, werden nachfolgend genannt. Weitere Details zur Konzipierung dieser Zellen und des Equipments sind in Kapitel 7.4 enthalten.

#### Leichte, manipulierende Verfahren:

(Zugang zum Material und oberflächliche Manipulation mit begrenztem mechanischem Aufwand)

- *Visuelle Prüfung*  
Kameras werden eingesetzt, um den Abfall sowohl in Echtzeit zu prüfen, als auch Bilder zur Dokumentation zu erstellen.
- *Gebindeöffnung*  
Zur Öffnung von Einzelgebinden (insbesondere Fässern, d. h. Deckelentnahme) wird entsprechendes Hantierungsequipment genutzt. Ggf. muss hier auch auf schweres Equipment verwiesen werden, wenn dies nur durch mechanische Trennung erfolgen kann.
- *Umschichten/Inspizieren von inhomogenem Abfall*  
Mit üblichen Greifern werden Bestandteile von inhomogenem Abfall umgeschichtet, so dass sie für visuelle Prüfung, Probenahme etc. zugänglich sind.
- *Flüssige und feste Probenahme, Entnahme von Bohrkernen, invasive Verfahren*  
Die Probenahme von festen und flüssigen Stoffen wird durch entsprechendes Entnahmewerkzeug ermöglicht. Ebenso werden ein Kernbohrer und ggf. invasive Verfahren wie z. B mit einem Endoskop vorgeschlagen, allerdings nur bei dafür speziell vorgesehenen Stationen (wie einer Station zur Messung von VBAs). Eine sichere Übergabemöglichkeit der Proben aus der Zelle wird vorgesehen.
- *Entfernung von Salzgrus und anderen Fragmenten*



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 112



Leichtes Manipulationswerkzeug ermöglicht die Trennung von kleineren mechanischen Verbindungen, z. B. bei anhaftendem Salzgrus an zu öffnenden oder entnehmenden Einzelgebinden.

- *Druckentlastungsmaßnahmen, Beprobung der Gasphase*  
Equipment zur Druckentlastung und damit zusammenhängend gleichzeitigen Beprobung der Gasphase wird vorgesehen.

#### Schwere, manipulierende Verfahren:

(Manipulation ganzer Gebinde oder großer Teile des Materials mit größerem mechanischen Aufwand)

- *Trennung und Zerlegung von massivem Abfallmaterial*  
Für das Trennen, Schneiden und Zersägen von massivem Abfallmaterial (größere Fragmente), werden geeignete fernhantierte Werkzeuge, wie z. B. Sägen oder Pressluftschlämmer vorgesehen.
- *Behälter-Entleerung und Umsortierung*  
Da die Notwendigkeit einer (Teil-)Entleerung von IB mit anschließender Separierung und Sortierung des rückgeholtene Abfallmaterials aus Sicht der Charakterisierung und/oder Konditionierung notwendig werden kann, ist entsprechendes Hantierequipment (Greifer) vorzusehen.
- *Hantierung von Abfällen mit höherer ODL (insbesondere MAW)*  
Rückgeholtene radioaktive Abfälle, welche hohe ODL-Werte an der Außenseite der IB aufweisen (MAW-Abfälle), erfordern Hantierungszellen mit höheren Abschirmdicken als diese für LAW-Abfälle vorzusehen sind. Hierfür ist daher eine Heiße Zelle zu errichten. Insbesondere für die Gebindeöffnung und Bewegung bzw. Entfernung von Abschirmungen ist im Sinne des Strahlenschutzes des Personals eine ausreichende Wandstärke erforderlich. Die Strahlenschutzmesstechnik innerhalb der Heißen Zelle ist auf die zu erwartenden hohen ODL-Werte bzw. Aktivitäten (s. Kapitel 2.1) auszulegen.


#### **6.3.3.5.1 Einsetzen von Überdruckventilen mit Sinterfilter**

Die Gebinde müssen zur Charakterisierung entweder bereits drucklos vorliegen (was nach Möglichkeit bereits im Rahmen der Bergung des Abfalls durchgeführt werden sollte) oder die Drucklosigkeit muss möglichst frühzeitig im Charakterisierungsprozess hergestellt werden. Durch Sicht- und ggf. mechanische Prüfung der Fassform und -oberfläche im Rahmen der Bergung kann bereits abgeschätzt werden, ob ein geschlossenes Fass unter offensichtlichem Überdruck steht.

Aktuell ist kein Verfahren bekannt, welches zerstörungsfrei (d. h. ohne direkten Zugang in das Fassinnere) die Drucklosigkeit eindeutig und vollumfänglich nachweisen kann. Daher müssen die intakten Gebinde zu dessen Nachweis (und ggf. zur Druckentlastung) immer zumindest angebohrt oder vollständig geöffnet werden, es sei denn es handelt sich um Gebinde mit einer intakten Fassdichtung. In diesem Fall kann durch Einstechen in die Dichtung und Absaugen des Gases die Aufgabe erfüllt werden. Es ist dabei aber wichtig sicherzustellen, dass an den konkret vorliegenden Dichtungen auch nach dem Verfahren noch Dichtheit vorliegt bzw. diese entsprechend wieder zu versiegeln.

Wenn das Gebinde nur zum Zwecke der Druckprüfung und -entlastung angebohrt und nicht aus weiteren Gründen geöffnet werden muss (z. B. im Rahmen der Probenahme, Behandlung oder Konditionierung), wird (sofern nicht bereits vorhanden) eine Barriere durch den Einbau von Überdruckventilen mit Sinterfilter hergestellt. Aufbohren und Öffnen muss aus sicherheitstechnischen Gründen fernhantiert und unter Kontaminationsschutzmaßnahmen (Auffangen von gasförmigen und ggf. flüssigem/festen Austritt) durchgeführt werden. Das Überdruckventil verhindert den erneuten Aufbau von erhöhtem Innendruck. Dies kann je nach Konzept des Verarbeitungsprozesses beispielsweise auch erst zum Zeitpunkt der Konditionierung



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 113

oder einer späteren Ausschleusung aus einem Sicherheitsbereich erfolgen. Es ist ferner zu beachten, dass sich im Gebinde mehrere getrennte Hohlräume befinden können, die ggf. mehrere Bohrungen erfordern und ohne weitere bildgebende Verfahren zur inneren Struktur nur schwierig zu identifizieren sind.

Die potenziell im rückgeholten Abfall vorhandenen Gase müssen bei der Lagerentlüftung sicher behandelt und unter kontrollierten Bedingungen (Abluftbehandlung und Filterung) abgeleitet werden. An dieser Stelle bietet sich ebenfalls die direkte Beprobung der Gase auf explosive Stoffe und Faulen/Gären an (siehe Kapitel 8.6.3). Das Entstehen neuer Gase durch die zugrundeliegenden chemischen Prozesse kann hierdurch identifiziert, entsprechend sicherheitstechnisch berücksichtigt und schließlich durch geeignete Konditionierung unterbunden werden.

### 6.3.3.5.2 Fernhantierte Manipulation und Sichtung

Durch Öffnung und physische Manipulation, Sichtung und ggf. Trennung/Sortierung des Abfalls kann dieser stofflich und strukturell identifiziert werden. Zu diesem Zeitpunkt kann auch eine Probenahme erfolgen. Aufgrund des Gefährdungspotenzials bei der Öffnung der rückgeholten Abfallbehälter ist dies in jedem Fall unter Verwendung entsprechender sicherheitstechnischer Einrichtungen durchzuführen.

Die fernhantierte Handhabung, Öffnung von Behältern und Probenahme kann in einer Sortierzelle bzw. Heißen Zelle durchgeführt werden. Hierbei können ggf. auch verschiedene solcher Zellen für unterschiedliche Aktivitäts- oder andere Abfallklassen eingerichtet werden. Die Behälter werden über eine Schleuse mittels einer Rollenbahn eingeschleust und in einem Pufferbereich abgestellt. Die Hantierung erfolgt fernhantiert durch einen Kran mit x/y-Koordinatensteuerung und Fassgreifern.

Die Heiße Zelle hat ein Strahlenschutzfenster mit darüber liegenden Manipulatoren. Diese können auf dem Zellenboden abgestellte Werkzeuge (z. B. zum Öffnen der Fässer, Probeentnahme) greifen und hantieren. Zur Entnahme von Proben für die chemisch/stofflichen Untersuchung ist ein Kernbohrer vorgesehen. Proben werden in Probenflaschen abgefüllt. Diese können über eine manuell hantierbare Probenschleuse ausgeschleust werden. Die Arbeitsabläufe werden zudem mittels Kameras erfasst und dokumentiert. Die Entnahme dieser Proben dauert je nach Entnahmeanzahl und Öffnungsaufwand Minuten bis (wahrscheinlicher) Stunden.

Zur Aktivitätsabschätzung können mit dem Manipulator greifbare Dosisleistungs sonden vorgesehen werden. Um die Kontaminationsfreiheit des Bodens der Zelle nach jedem Durchgang sicherstellen zu können (Gefahr der Kontaminationsverschleppung), sind Sauger vorzusehen, die auch Flüssigkeiten aufsaugen können. Der hermetische Abschluss muss entsprechend durch ein geeignetes Filter- und Belüftungssystem sichergestellt werden.

### 6.3.4 Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage

Die Messverfahren zur Bestimmung der mechanischen/strukturellen Eigenschaften der rückgeholten radioaktiven Abfälle sind sowohl im Bereich der Einschleusung als auch als Standardmessstationen zur Ermittlung der Art der Zusammensetzung der Abfälle vorzusehen.


## 6.4 Chemisch/stoffliche Messverfahren (Messkategorie C)

Durch die chemische/stoffliche Charakterisierung wird die Zusammensetzung der im Gebinde befindlichen Gase, Flüssigkeiten und Feststoffe bestimmt, insbesondere im Hinblick auf

- den Nachweis von explosiven oder brennbaren/brandfördernden Stoffen und Faulen/Gären,
- die Zuordnung von Materialien zu Stoffklassen und Abfallproduktgruppen und
- die Bestimmung nichtradioaktiver, schädlicher Stoffe.

Das Vorhandensein explosiver Abfallbestandteile bzw. brennbarer/brandfördernder Feststoffe kann durch chemische Analyse ermittelt werden. Explosive Stoffe sind oftmals leichtflüchtige Verbindungen oder Gase und können mittels Gasphasenchromatographie bestimmt werden, welches das gängigste Verfahren zur Bestimmung der Gasphase darstellt. Für den Nachweis von Faul- und Gärprozessen sind der Methan- und CO<sub>2</sub>-Gehalt und die vorhandene Feuchtigkeit im rückgeholten Abfall auch in der Gasphase zu bestimmen. Zur Gewinnung der Gasproben sind je nach Gebindezustand das Anbohren oder Öffnen des Gebindes erforderlich (sofern keine



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 114

Fassdichtung vorhanden). Das Anbohren hat dabei mit langsamer Geschwindigkeit zu erfolgen, um Wärmeeintrag und damit Funkenflug oder Entzündung auszuschließen.

Die chemische Analyse von Feststoffen und Flüssigkeiten (insbesondere durch Laboranalyse) resultiert sowohl aus der Bestimmung der generellen stofflichen Zusammensetzung als auch der quantitativen und qualitativen Bestimmung nichtradioaktiver, schädlicher Stoffe. Neben der klassischen, chemischen Laboruntersuchung von aus den rückgeholten Abfällen entnommenen Proben bieten sich diverse (teils auch noch relativ neuartige) Verfahren mit oder ohne direkten Zugang zum Abfallmaterial an, die hier ebenfalls aufgeführt werden.

Die nachfolgend vorgestellten instrumentellen Methoden geben einen Überblick darüber, welche Verfahren existieren und sich bereits im praktischen Routineeinsatz befinden. Grundsätzlich ist eine exakte Bestimmung der ganz oder teilweise abgeschlossenen Behälterinhalte sehr aufwändig. Daher sollte die Anzahl der genommenen Proben möglichst minimiert werden, wie beispielsweise durch eine Clusterbildung von Abfällen ähnlicher Eigenschaften und repräsentativer Beprobung (s. Kapitel 8.5).

Für die Sicherheit der herzustellenden Abfallgebinde ist es zudem notwendig, dass die Bestandteile des rückzuholenden radioaktiven Abfalls nicht chemisch miteinander reagieren, so dass keine gasförmigen Produkte entstehen, beziehungsweise leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe explosionsfähige Gemische bilden können. Eine Trocknung der Fässer entfernt sowohl das für chemische Prozesse notwendige Wasser, als auch den Anteil leichtflüchtiger Kohlenwasserstoffe.

#### 6.4.1 Auswahl der Messverfahren

Für die Bestimmung der chemischen/stofflichen Messgrößen (Messkategorie C) können die in Tab. 41 zusammengestellten zerstörungsfreien Messverfahren, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern, zur Anwendung kommen. Zusätzlich stehen auch Messverfahren, welche einen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern, zur Verfügung (s. Tab. 42).


Die geeigneten Messverfahren, deren Auslegung und erforderliche Leistungsfähigkeit im nachfolgenden Kapitel 6.4.3 beschrieben werden, sind in der Tab. 41 bzw. Tab. 42 fettgedruckt hervorgehoben (für Messkategorie C werden alle nachfolgend genannten Messverfahren in der Konzeptplanung berücksichtigt).

Tab. 41: Überblick über mögliche zerstörungsfreie Messverfahren der Messkategorie C, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
<b>Neutronen-Aktivierungsanalyse (Gebindemaßstab)</b>	Identifizierung und Quantifizierung toxischer stabiler Elemente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	Stabile Elemente			3-4 Std.	10 <sup>-9</sup> bis 10 <sup>-15</sup> g/g je nach Element und Matrixmaterial

Tab. 42: Überblick über mögliche Messverfahren der Messkategorie C, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus*	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
<b>Nass-Chemische Verfahren</b>							
<b>Nass-Chemische</b>	Stoffliche Identifikation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter<sup>1)</sup></li> <li>- 100- bis 400-l-</li> </ul>	Durch nicht-instrumen-			Min. - Std.	k.E.


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 115

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus*	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
<b>Verfahren</b>	und Zuordnung, Aufbereitung für instrumentelle Analytik	Fass (intakt/ beschädigt) – VBA <sup>2)</sup> – lose Abfälle – Salzgrus	telle Analytik identifizierbare Bestandteile				
<b>Spektroskopische Verfahren</b>							
<b>Röntgen-Fluoreszenz-analyse</b>	Elementzusammensetzung der Probe	– Innenbehälter <sup>1)</sup> – 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt) – VBA <sup>2)</sup> – lose Abfälle – Salzgrus	Metalle, petrochemische Stoffe			Sek. - Min.	k.E.
<b>Infrarot-spektroskopie</b>	Bestandteile auf Molekülebene	– Innenbehälter <sup>1)</sup> – 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt) – VBA <sup>2)</sup> – lose Abfälle – Salzgrus	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe			Sek. - Min.	k.E.
<b>Neutronen-Aktivierungs-analyse (Beprobung)</b>	Elementzusammensetzung der Probe	– Innenbehälter <sup>1)</sup> – 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt) – VBA <sup>2)</sup> – lose Abfälle – Salzgrus	Stabile Elemente			Std.	ppb-Bereich
<b>Chromatographische Verfahren</b>							
<b>Gaschromatographie</b>	Verteilung der Probenbestandteile	– Innenbehälter <sup>1)</sup> – 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt) – VBA <sup>2)</sup> – lose Abfälle – Salzgrus	Methan, CO <sub>2</sub> von Gären, Wasserreste			bis 1 Std.	ppb-Bereich
<b>Flüssigkeitschromatographie</b>	Verteilung der Probenbestandteile	– Innenbehälter <sup>1)</sup> – 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt) – VBA <sup>2)</sup> – lose Abfälle – Salzgrus	Schadstoffe: Polychlorierte Dibenzodioxine			Min. - Std.	k.E.
<b>Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie</b>	Molare Masse eines Nuklids	– Innenbehälter <sup>1)</sup> – 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt) – VBA <sup>2)</sup> – lose Abfälle – Salzgrus	Methan, CO <sub>2</sub> von Gären, H <sub>2</sub> O, Wasserreste			Min. - Std.	k.E.
<b>Optische Verfahren</b>							
<b>Refraktometrie</b>	Licht o.ä. elektromagnetische Wellen	– Innenbehälter <sup>1)</sup> – 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)	Org. Verbindungen, Eisen			Min. - Std.	k.E.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 116

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus*	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- VBA<sup>2)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>					
<b>Polarimetrie</b>	Licht o.ä. elektromagnetische Wellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter<sup>1)</sup></li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA<sup>2)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	Org. Verbindungen, Eisen			Min. - Std.	k.E.
<b>Fotometrie</b>	Licht o.ä. elektromagnetische Wellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter<sup>1)</sup></li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA<sup>2)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	Org. Verbindungen, Eisen			Min. - Std.	k.E.
<b>Elektroanalytische und sonstige Verfahren</b>							
<b>Massenspektrometrie</b>	Molare Masse eines Nuklids	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter<sup>1)</sup></li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA<sup>2)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	Stoffliche Zusammensetzung, Schadstoffe: Polychlorierte Dibenzodioxine			Std.	k.E.
<b>Elektrogravimetrie</b>	Elektrolytmasse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter<sup>1)</sup></li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA<sup>2)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	Metalle			Min. - Std.	k.E.
<b>Potentiometrie (Voltametrie)</b>	Elektrochemisches Potenzial bzw. Spannung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter<sup>1)</sup></li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA<sup>2)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	Nitrat, Kalium, Calcium			Min. - Std.	k.E.

\* reine Messzeit, ohne Berücksichtigung des Zeitbedarfes für die Probenaufbereitung

<sup>1)</sup>: nur, wenn Probenahme im Innenbehälter erfolgen kann


<sup>2)</sup>: nur bei Freilegung des Fasses

k.E: keine Einschränkungen

#### 6.4.2 Marktverfügbarkeit

Bis auf die Neutronen-Aktivierungsanalyse sind alle benannten Verfahren marktgängig. Die notwendigen Analysegeräte sind gut verfügbar und werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Für chemische Aufschlüsse und anschließende Untersuchungen wird ein komplett ausgestattetes Labor benötigt. Auch hierfür gibt es eine große Anzahl an Marktteilnehmern (s. Tab. 43).

Bei der Wahl des Analyselabors ist von einer großen Anzahl zu analysierender Proben auszugehen. Es muss daher gewährleistet sein, dass dafür ausreichende Laborkapazitäten zur

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 117

Verfügung stehen. Das Behandlungszentrum zur Charakterisierung und Konditionierung der geborgenen Abfälle sollte intern mit einem Labor ausgestattet sein, welches die regulär in größeren Mengen anfallenden Proben bearbeiten kann, in erster Linie Sortiertische und ein Gaschromatograph zur Analyse der Gasphase. Andere Analysemethoden oder zusätzliche Kapazitäten können auch bei externen, akkreditierten Dienstleistern bei Bedarf beauftragt werden.

Tab. 43: Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Verfahren zu Messkategorie C.

Verfahren	Marktverfügbarkeit	Hersteller (Beispiele)	marktbeteiligte Institute, Anwender, Erfahrungsträger
Neutronen-Aktivierungsanalyse (Gebindemaßstab)	begrenzt	Forschungs- und Entwicklungsgegenstand	FZJ, TU München (RCM), FRM II durch Heinz Maier-Leibniz-Zentrum, AiNT/Framatome/Fraunhofer-Institut
Nass-Chemische Verfahren	gut	Verbreitete Laborausstatter und -vertreiber, z. B. – Welabo – Steiner Chemie	Standardverfahren in chemischen Laboren
Röntgen-Fluoreszenzanalyse (Beprobung)	gut	Helmut Fischer GmbH	
Infrarot- und Raman-Spektroskopie	gut	Shimadzu Deutschland GmbH	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Neutronen-Aktivierungsanalyse (Beprobung)	begrenzt	(s. Spalte zu Anwender)	FZJ, Forschungsreaktoren
Gaschromatographie	gut	– Thermofischer Scientific GmbH – Agilent GmbH – Shimadzu Deutschland GmbH	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Flüssigkeitschromatographie	gut	Shimadzu Deutschland GmbH	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie	gut	Thermofischer Scientific GmbH	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Refraktometrie	gut	Mettler Toledo	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Polarimetrie	gut	Thorlabs	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Fotometrie	gut	– Berthold Technologies GmbH – WTW	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Massenspektrometrie	gut	– Thermofischer Scientific GmbH – Agilent GmbH – Shimadzu Deutschland GmbH	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Elektrogravimetrie	gut	Amel Electrochemistry	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik
Potentiometrie (Voltametrie)	gut	WTW	Standardgerät in Laboren mit instrumenteller Analytik

### 6.4.3 Funktionsweise und Einsatz der Messtechnik

#### 6.4.3.1 Neutronen-Aktivierungsanalyse (im Gebindemaßstab)

Derzeit laufende Entwicklungsarbeiten von Messeinrichtungen zum Einsatz der Neutronen-Aktivierungsanalyse im Rahmen der zerstörungsfreien stofflichen Charakterisierung werden mit dem Ziel der Identifizierung und Quantifizierung toxischer Elemente in großvolumigen Behältern durchgeführt.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 118



Hierbei stellt die Messanlage QUANTOM® (Quantitative Analyse toxischer und nicht-toxischer Materialien) von Framatome eine Multi-Elementanalysemethode dar, mit der durch die ergänzende Kombination aus Prompter-Gamma-Neutronen-Aktivierungsanalyse (engl. PGNA: *Prompt-Gamma-Neutron-Activation-Analysis*) und Verzögerter-Gamma-Neutronen-Aktivierungsanalyse (engl. DGNA: *Delayed-Gamma-Neutron-Activation-Analysis*) eine repräsentative zerstörungsfreie Untersuchung radioaktiver Abfallfässer hinsichtlich der Elementverteilung in einem Abfallfass möglich ist. QUANTOM® befindet sich derzeit in dem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium der Inbetriebsetzungsversuche, in deren Rahmen noch kein Routinebetrieb stattfindet, jedoch bereits Tests für Kunden der öffentlichen Hand durchgeführt werden. Die weitere Entwicklung ist daher zu verfolgen, um eine Anwendbarkeit auf die Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle frühzeitig beurteilen zu können.

Die Messzeit der PGNA liegt zwischen Minuten und mehreren Stunden, während die DGNA-Messzeit zwischen mehreren Stunden bis zu Tagen liegt. Bei beiden Methoden können Nachweisgrenzen im Bereich von  $10^{-9}$  bis  $10^{-15}$  g/g Gesamtmaterial (je nach Element und Matrixmaterial) erreicht werden.

Eine Identifizierung von Verbindungen ist eingeschränkt über das Elementverhältnis einer Verbindung möglich. Sowohl PGNA als auch DGNA beruhen auf dem gammaspectrometrischen Nachweis einer neutronen-induzierten Kernreaktion. Die beiden Methoden sind heutzutage im Bereich der Spurenanalytik von Kleinstproben im Grammbereich etablierte Analyseverfahren. Während bei der DGNA die Emissionsrate der Gamma-Strahlung über die Halbwertszeit des Aktivierungsprodukts verzögert wird, geschieht bei der PGNA die Gamma-Emission des durch das Neutron angeregten Compoundkerns quasi-simultan zum Neutroneneinfang innerhalb eines Zeitfensters von  $10^{-16}$  bis  $10^{-12}$  Sekunden. Grundlage für die analytische Messauswertung und Massenquantifizierung ist ein aufgenommenes Gammaspektrum. Nach der Analyse entsteht ein Gammaspektrum, aus dem die vorhandenen Radionuklide und ihre Aktivitäten bestimmt werden können.


Die Neutronen-Aktivierungsanalyse (NAA) im Gebindemaßstab ist somit ein Verfahren, das zerstörungsfrei einen großen Teil der Elementzusammensetzung der rückgeholten radioaktiven Abfälle bestimmen kann und somit den Umfang einer Beprobung mindestens eingrenzen kann. Die benötigten Messzeiten im Bereich von bis zu 4 Stunden einer Messanlage wie QUANTOM® sind hier dem zeitlichen Aufwand einer Probenahme gegenüberzustellen. Auf Basis des aktuellen Entwicklungsstands sind folgende Einschränkungen zu berücksichtigen:

- Die NAA ist derzeit noch als Messanlage für (möglichst intakte) zylindrische 200-l-Gebinde vorgesehen, nicht für nichtzylindrische Geometrien wie IB. Messungen an Gebinden mit einem Volumen größer als 400 l sind mit hohen Unsicherheiten behaftet.
- Bei den registrierten Signalen handelt es sich um Gamma-Strahlung, die insbesondere durch potenzielles Abschirmmaterial absorbiert wird und somit die Genauigkeit der Messungen herabsetzt. Eine Verteilung der Dichte des Abfallmaterials mittels Radiographie oder Tomographie ist daher im Vorfeld zu ermitteln.
- Es kann nur auf die Elementverteilung geschlossen werden, aber keine allumfängliche Aussage über den stofflichen Inhalt getroffen werden.

Daher ist die NAA im Gebindemaßstab insbesondere als **Spezialuntersuchung** vorzusehen und insbesondere anzuwenden

- bei schwer zugänglichen oder zu öffnenden Gebinden oder Gebindefragmenten, bzw. wo eine Öffnung aus anderen Gründen vermieden werden sollte (Freisetzung, Stabilität, o.ä.)
- zur Belegung der Homogenität von Abfallmaterial bzw. Repräsentativität gewonnener Proben, sowie als stichprobenartige Probenahme zur Unterstützung/Verifizierung der stofflichen Charakterisierung
- zur Identifizierung unbekannter Gebindeinhalte, sowie zum Ausschluss von unbekanntem stofflichen Inhalten größerer Mengen



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 119

Die technologische Weiterentwicklung der NAA, insbesondere die Anwendung auf nichtzylindrische IB, sollte somit weiterverfolgt werden.

#### 6.4.3.2 Probenanalyse

Anhand zerstörungsfreier struktureller Untersuchungen, wie z. B. die Tomographie, sowie anhand von visueller und mechanischer/manipulierender Inspektion (wo erforderlich) lassen sich die rückgeholtten Abfälle bereits Stoffklassen zuordnen. Wo dies nicht (hinreichend) möglich ist, muss jedoch eine Probenanalyse mit chemischen Verfahren am Material durchgeführt werden.

Aus den Messergebnissen der im Folgenden beschriebenen Messverfahren kann auf die chemische Zusammensetzung des Abfallmaterials geschlossen werden. Zur Durchführung dieser Analysemethoden muss der rückgeholtte Abfall nach aktuellem Stand der Technik beprobt werden. Eine vollständige Analyse kann nach dem Ziehen der Proben innerhalb von Minuten bis Stunden durchgeführt werden. Ein umfangreich ausgestattetes Labor ist allerdings Voraussetzung für diese Analyse und das Gewinnen und die Anlieferung der Proben müssen für die Gesamtanalysedauer berücksichtigt werden. Der Durchsatz bei den Verfahren hängt sehr stark davon ab, ob einheitliche Proben vorliegen oder ob jede Probe getrennt aufbereitet werden muss.

Die Genauigkeit liegt üblicherweise im ppb-Bereich. Das Analyseergebnis ist die Elementzusammensetzung bzw. die stoffliche Zusammensetzung der entnommenen Probe. Instrumentell-analytische Verfahren ermitteln dabei i. d. R. typische Signaturen bestimmter Elemente, Molekülstrukturen etc. und deren Intensität relativ zueinander.

Üblicherweise werden die nachfolgend genannten Messverfahren, je nach Erfordernis, als ein gebündelter Analyseschritt im Rahmen der Laboruntersuchung einer Probe durchgeführt. Es stehen hinreichend genaue Methoden nach aktuellem Stand der Technik zur Verfügung, so dass sich grundsätzlich alle Stoffe durch eine solche chemische Analyse in der benötigten Genauigkeit bestimmen lassen.

##### 6.4.3.2.1 Nass-Chemische Verfahren

Je nach Fragestellung können klassische nasschemische Methoden zur Analyse folgender Messgrößen eingesetzt werden:


- Probenaufschluss und -untersuchung der anorganischen Bestandteile
- Chemische Identität auf Ionen und funktionelle Gruppen
- Grenzprüfungen (Schwermetalle, Sulfatasche etc.)
- pH-Wert
- Leitfähigkeit
- Relative Dichte
- Brechungsindex
- Spezifische Drehung
- Siedepunkt
- Schmelzpunkt

Weiterhin können Proben für die instrumentelle Analytik aufbereitet werden. Gängige Messverfahren hierzu werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

##### 6.4.3.2.2 Spektroskopische Verfahren

Bei spektroskopischen Methoden und Geräten tritt die Probe in Wechselwirkung mit elektromagnetischer Strahlung (Absorption und Emission), Teilchenstrahlen (z. B. Neutronen), mechanischen Wellen o.ä. Die Absorptions- bzw. Emissionsantwort durch die Probe werden spektroskopisch gemessen, woraus Rückschlüsse auf die Probenzusammensetzung gezogen werden können. Die wichtigsten, für die stoffliche Analyse angewandten Verfahren, sind die Folgenden:



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> <small>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</small>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 120

### Röntgen-Fluoreszenz-Analyse (RFA)

Durch Bestrahlen der Probe mittels polychromatischer Röntgenstrahlen, Gammastrahlung, Ionenstrahlen oder Elektronenstrahlen, werden innere Elektronen der Matrixelemente angeregt. Die Elektronen gehen wieder in den Grundzustand unter Abgabe von Röntgenstrahlung über. Mittels wellenlängendispersiven oder energiedispersiven Röntgenspektrometern werden die element-spezifischen Röntgenstrahlungen ermittelt und so auf die Elementzusammensetzung rückgeschlossen. Diese Methode ist weit verbreitet und die Technik auch mit geringerer Auflösung in Form von Handscannern leicht verfügbar.

Bei der Emission eines Fluoreszenzphotons kann auch ein Auger-Effekt auftreten. Dabei wird die freigegebene Anregungsenergie auf ein Elektron übertragen, das sich mit dieser Energie aus dem Kern löst. Dieser Effekt steht in Konkurrenz zur Emission von Fluoreszenzphotonen und tritt stärker bei leichten als bei schweren Elementen auf. Somit sind leichte Elemente mit RFA schlecht zu messen, was eine Einschränkung des Verfahrens darstellt.

### Infrarot- und Raman-Spektroskopie

Bei der Infrarotspektroskopie werden Moleküle, bei denen eine Infrarot (IR)-Absorption auftreten kann, angeregt. Dabei entstehen Molekülschwingungen, die typisch für bestimmte chemische Strukturen sind und in einem Infrarotspektrum beobachtet werden können. Somit können Rückschlüsse auf einzelne Bestandteile auf Molekülebene gezogen werden. Symmetrische Moleküle, wie H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> oder O<sub>2</sub> sind infrarot inaktiv und können daher nicht mit diesem Verfahren nachgewiesen werden. IR-Spektrometer sind für die Aufnahme von Spektren im Bereich von 2,5 – 15,4 µm geeignet.

Für symmetrische Moleküle bzw. viele nicht infrarot aktive Moleküle/Strukturen kann zudem die Raman-Spektrometrie angewandt werden, welche ähnliche Schwingungsprozesse über die inelastische Streuung von üblicherweise monochromatischem Laser-Licht spektroskopisch nachweist.

### Neutronen-Aktivierungsanalyse (Beprobung)

Zusätzlich zu der Anwendung im Gebindemaßstab (s. Kapitel 6.4.3.1), kann die Neutronen-Aktivierungsanalyse als technisch etabliertes Messverfahren zur Untersuchung von Materialproben eingesetzt werden. Bei der Untersuchung von Materialproben wird die zu analysierende Probe einem Neutronenfeld ausgesetzt. Dabei entstehen radioaktive Isotope. Mittels Gamma-spektrometrie können so die Elemente der Probe bestimmt werden. Da nur kleine Probenmengen untersucht werden können, müssen diese möglichst homogenisiert zur Bestrahlung vorliegen.

Typische Messbereiche dieses Verfahrens liegen im ppb-Bereich. Die Radionuklide, die mit Hilfe der Gammaspektrometrie nachgewiesen werden können, werden zur quantitativen Bestimmung der Bestandteile der untersuchten Probe genutzt, wobei entsprechend nur über diese Elemente eine direkte Messung erfolgen kann. Die Proportionalität zwischen der in der bestrahlten Probe vorhandenen Menge des zu bestimmenden Elements und der Aktivität des gebildeten Radionuklids ermöglicht diese quantitative Bestimmung.

Obwohl bereits technisch gut etabliert, ist dieses Verfahren sowohl zeitlich als auch messtechnisch aufwändig und daher nur an wenigen Einrichtungen verfügbar.

#### 6.4.3.2.3 Chromatographische Verfahren

Mittels chromatographischer Verfahren werden die Komponenten einer Probe auf Grund ihrer unterschiedlichen Fließ- oder Wanderungsgeschwindigkeiten aufgeteilt und anhand dessen identifiziert. Im Wesentlichen werden hierfür folgende Messverfahren eingesetzt:

- **Gaschromatographie**
- **Flüssigkeitschromatographie**
- **Hochdruck-Flüssigkeits-Chromatographie**



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 121

Diese Verfahren basieren auf Adsorption und Desorption sowie unterschiedlicher Retentionszeiten der Einzelkomponenten. Weiterhin gibt es noch Verfahren, welche durch elektrische Felder die Probenbestandteile auftrennen (z. B. Ionenchromatographie/Elektrophorese IC/EP).

Die chromatographische Analyse beruht auf der Verteilung der Probenbestandteile zwischen einer mobilen Phase und einer stationären Phase. Die einzelnen Bestandteile werden unterschiedlich an der stationären Phase zurückgehalten und so voneinander getrennt. Durch diese Trennung und bekannte Laufzeiten bzw. Trennwege lassen sich verschiedene Stoffe der Probe voneinander unterscheiden und identifizieren. Für die gasförmige Phase sind dies die flüchtigen Bestandteile, in der Praxis insbesondere  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$  und  $H_2$ .

Bei der Gaschromatographie (GC) ist die Probe ein zu analysierendes Gas, das entweder direkt injiziert wird oder aus der vorgelagerten Verdampfung der Probe stammt. Mit Hilfe eines Trägergas wird die Probe durch eine Säule geleitet, in der sich die stationäre Phase befindet. Am Ende der Säule befindet sich ein Detektor oder aber eine weitere Analyseeinheit, zum Beispiel ein Massenspektrometer. Das Analysegerät ist daher nicht direkt am Abfallmaterial anwendbar, sondern es muss zuerst eine Probe genommen und analysiert werden.

Die Probenahme erfolgt durch Aufziehen einer Spritze, möglichst durch eine Bohrung in das Gebinde. Die Gasphase innerhalb des Gebindes ist hinreichend homogen, vorausgesetzt das Gebinde enthält keine voneinander hermetisch abgetrennten Hohlräume. Die eigentliche Probenahme dauert in der Regel nur wenige Minuten, die Probenahme erfolgt mittels Spritze. Die Messung dauert zwischen 30 und 60 min, die Auswertung erfolgt automatisch.

Die GC ist ein sehr empfindliches und trennscharfes Verfahren. Die Nachweisgrenzen liegen im ppb-Bereich. Mittels GC lassen sich nur Analyten trennen, welche sich unzerstört verdampfen lassen, die für die Charakterisierung relevanten Messgrößen können hierdurch aber ermittelt werden. Während der Trennung müssen nicht alle Moleküle komplett verdampft sein. Beschädigte Gebinde und loses Material können beprobt werden, die GC ist empfindlich genug, um auch kleine Mengen an  $H_2$ ,  $CO_2$  und Methan zu detektieren.

#### 6.4.3.2.4 Optische Verfahren

Die optischen Methoden basieren auf Wechselwirkung der Probe mit Licht oder lichtähnlichen elektromagnetischen Wellen. Zu diesen Methoden gehören:

- **Refraktometrie** (Messung des Brechungsindex)
- **Polarimetrie** (Messung der optischen Aktivität/des Drehwertes)
- **Fotometrie** (Messung der Lichtabsorption in Form der Extinktion oder Transmission bei einer bestimmten Wellenlänge)

Diese Messgrößen sind stofftypische Eigenschaften, die entsprechend Rückschlüsse auf die stoffliche Zusammensetzung der Probe geben. Optische Methoden eignen sich jedoch insbesondere für spezifische Untersuchungen. Für eine umfassende chemische Charakterisierung sind sie weniger gut geeignet.


#### 6.4.3.2.5 Elektroanalytische und sonstige Verfahren

Ferner existieren elektroanalytische und auch weitere physikalische Methoden und Geräte, bei denen die Probe z. B. elektrisch aufgeladen, dem elektrischen Strom ausgesetzt oder in Molekülbruchstücke (Fragmente) zertrümmert und aufgetrennt wird. Hierzu gehören:

- **Massenspektrometrie** zur Ermittlung der molaren Masse eines Moleküls bzw. seiner Schlüsselbruchstücke,
- **Elektrogravimetrie** zur Konzentrationsbestimmung über die abgeschiedene Elektrolytmasse und
- **Potentiometrie (Voltametrie)** zur Messung des elektrochemischen Potentials bzw. der resultierenden Spannung.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 122
--	------------

#### 6.4.3.2.6 Analysedauer und Genauigkeit der Probenahme

Der Tagesdurchsatz hängt sehr stark davon ab, ob einheitliche Proben vorliegen oder ob jede Probe getrennt aufbereitet werden muss. Es muss mit mehreren Tagen gerechnet werden, bis die Ergebnisse zu einer beprobten Einheit des rückzuholenden radioaktiven Abfalls vorliegen. Eine komplette Analyse dauert je nach Aufwand der Vorbereitung bis zu einer Woche, die instrumentellen Analysen liefern hierbei Genauigkeiten im ppb-Bereich und darunter. Handscanner liefern belastbare Ergebnisse in kürzerer Zeit mit vergleichbarer Genauigkeit, sind aber nur auf ihre konkreten Anwendungen beschränkt und können daher nicht das komplette Spektrum der stofflichen Charakterisierung abdecken das die Probenanalyse liefert.

Es empfiehlt sich die parallele Probenbearbeitung, Voraussetzung hierfür sind genügend Kapazitäten an einem Laborstandort.

#### 6.4.4 Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage

Die **Neutronen-Aktivierungsanalyse im Gebindemaßstab** sollte als Messstation für Spezialmessungen im Einzelfall vorgesehen werden.

Innerhalb der Abfallbehandlungsanlage sollte ein eigener **Laborbereich** vorgesehen werden, der es ermöglicht, eigene Standardanalysen vor Ort durchzuführen. Aufgrund der zum Teil hohen Analysedauern und dem damit verbundenen geringen Durchsatz an Proben ist zusätzlich die Analyse in externen, akkreditierten Labors vorzusehen.

### 6.5 Radiologische Messverfahren (Messkategorie D)

Ziel der radiologischen Charakterisierung ist die Bestimmung der Aktivität der in den Gebinden enthaltenen Radionuklide. Dies umfasst auch die Massen von Spaltstoffen und Natur-/abgereichertem Uran, die direkt aus der Aktivität bestimmt werden können.

Ein Teil der Nuklide ist nicht oder nur schwer direkt messbar und die Gesamtinformation muss in voraussichtlich einer Vielzahl von Fällen durch die Kombination verschiedener Verfahren (einschließlich Probenahme und -analyse) erfolgen. Auch die Abschirmung in den Gebinden erschwert eine möglichst präzise Bestimmung, insbesondere, wenn diese nicht bekannt ist (was wiederum eine möglichst genaue strukturelle und stoffliche Charakterisierung erfordert). Sofern keine präzisen Informationen zur Aktivitätsbestimmung der Einzelnuklide vorhanden sind, müssen konservative Annahmen getroffen werden, die wiederum den Unsicherheitsbereich erhöhen.

Die möglichst genaue Bestimmung dieser Aktivitäten ist essenziell, da sonst konservative Angaben in der Bilanzierung der Aktivitäten zu deklarieren sind und dies eine ggf. unrealistisch hohe Ausschöpfung des Aktivitätsinventars des Endlagers zur Folge hat („Scheinaktivitäten“).

Die Methoden werden im Folgenden getrennt nach Neutronen-involvierenden und nicht involvierenden Nachweismethoden aufgeführt. Auch eine Kombination dieser Verfahren ist möglich und wird bereits vielfach bei etablierten Charakterisierungsverfahren angewendet.


#### 6.5.1 Auswahl der Messverfahren

Tab. 44 enthält eine Übersicht über die möglichen zerstörungsfreien Messverfahren, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern. In Tab. 45 sind diejenigen Messverfahren zusammengestellt, welche einen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Die geeigneten Messverfahren, deren Auslegung und erforderliche Leistungsfähigkeit im nachfolgenden Kapitel 6.5.3 beschrieben werden, sind in der Tab. 44 bzw. Tab. 45 fettgedruckt hervorgehoben. Messverfahren der Messkategorie D, welche die geforderten Messgrößen ebenfalls bestimmen können, aber im Rahmen der weiteren Konzeptplanung nicht berücksichtigt werden, da

- deren Einsatz keinen Mehrwert an Informationen bietet und/oder
- diese bereits durch leistungsstärkere Verfahren abgedeckt werden,

sind in Anhang 7 beigefügt. Im Rahmen der Entwurfsplanung stehen die Informationen zu diesen Messverfahren somit bei Bedarf ebenfalls zur Verfügung.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 123

Tab. 44: Überblick über mögliche zerstörungsfreie Verfahren der Messkategorie D, welche keinen direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
<b>Gamma-spektrometrie</b>	Gesamtaktivität, isotopenspezifische Aktivität	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	γ: Schlüsselnuklide		α, β, n	1 - 2 Std.	nuklidabhängig. z. B. ~100 mg Bereich für U-235
<b>Gamma-Kamera</b>	Aktivität, räumliche Quellverteilung von γ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA*)</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	γ		α, β, n	0,5 - 1 Std.	nuklidabhängig
<b>Kalorimetrische Dosimetrie</b>	Gesamtenergie der emittierten Strahlung und/oder Zerfallswärme, Temperaturänderung des Materials bei Bestrahlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	Gesamtdosisleistung aller emittierten Strahlung		Einzel-nuklide / Diff. Strahlung	1 Std.	nuklidabhängig (Genauigkeit ist hoch, wenn chemische Reaktionen ausgeschlossen werden können)
<b>Passive Neutronenmessung</b>	Natürliche Neutronenemission, daraus Rückschluss auf emittierende Nuklide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	K, TUE		α, β, γ	0,5 - 1 Std.	nuklidabhängig, 1 mg-Bereich für Pu (z. B. ca. 0,5 für Pu-239) ca. 1-10 g für U (in Proben)
<b>Aktive Neutronenmessung</b>	Induzierte Neutronenemission, daraus Rückschluss auf emittierende Nuklide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	K, TUE		α, β, γ	3 - 4 Std.	
<b>Aktive Gamma-messung (Neutroninterrogation)</b>	Emissionsrate der Gamma- und Neutronenstrahlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	K, TUE		α, β, n	1 - 2 Std.	



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 124

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
Passive Gamma-messung des spaltbaren Materials	Emissionsrate der Gamma-Strahlung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Umverpackung</li> <li>- Innenbehälter</li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA</li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>		K, TUE	α, β, n	1 - 2 Std.	

α: Alphaemitter  
 β: Betaemitter  
 γ: Gammaemitter  
 n: Neutronen  
 K: spaltbare Stoffe  
 TUE: Transurane  
 \*) geeigneter bei Freilegung des VBA-Inhaltes

Tab. 45: Überblick über mögliche Messverfahren zur Messkategorie D, die direkten Zugang zum Abfallmaterial erfordern.

Verfahren	Zielgröße	Geeignet für Geometrie	messbare Nuklide / Stoffe			Typische Messzeit pro Messzyklus	Nachweisgrenze/ Messbereich
			ja	bedingt	nein		
Probenahme und radiochemische Analyse	Radionuklidkonzentration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Innenbehälter<sup>1)</sup></li> <li>- 100- bis 400-l-Fass (intakt/ beschädigt)</li> <li>- VBA<sup>2)</sup></li> <li>- lose Abfälle</li> <li>- Salzgrus</li> </ul>	α, β, γ	n		Std. - Tage	k.E.

α: Alphaemitter  
 β: Betaemitter  
 γ: Gammaemitter  
 n: Neutronen  
<sup>1)</sup>: nur, wenn Probenahme im Innenbehälter erfolgen kann  
<sup>2)</sup>: nur bei Freilegung des VBA-Inhaltes  
 k.E: keine Einschränkungen

### 6.5.2 Marktverfügbarkeit

Gebindemesseinrichtungen zur Aktivitätsmessung sowie zur Bestimmung weiterer relevanter Größen (wie z. B. Dosisleistung) gehören zu etablierten Standardprodukten im Bereich der Abfallcharakterisierung.


Die meisten Anbieter für Spaltmaterial-Nachweisgeräte kommen aus den USA, wo sie durch die „Homeland Security“-Projekte gefördert wurden. Hierbei handelt es sich meist um zerstörungsfreie Nachweismethoden, da diese nicht die Gefahr implizieren, die Umwelt mit Spaltstoffen oder anderen radioaktiven Stoffen zu belasten.

In Europa werden die angebotenen Geräte vorwiegend für Abbrandmessungen von Brennelementen, den Spaltstoffnachweis in Abfallfässern sowie die Spaltstoffkontrolle durch Behörden/IAEA eingesetzt.

Insbesondere passive Gamma- und Neutronen-Monitore sind dabei auf dem Markt verbreitet und vielfach erprobt. Aktive Monitore sind daher bislang wenig zum Einsatz gekommen, insbesondere aufgrund des erforderlichen höheren Aufwandes, der durch die Anwendung gerechtfertigt werden muss. Hierbei handelt es sich vielmehr um Prototypen und Spezialsysteme als um etablierte und erprobte Produktlinien.

Eine Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Messverfahren zu Messkategorie D ist in Tab. 46 dargestellt.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 125

Tab. 46: Übersicht über die Marktverfügbarkeit der Verfahren zu Messkategorie D.

Verfahren	Marktverfügbarkeit	Hersteller	marktbeteiligte Institute, Anwender, Erfahrungsträger
Gammaspektrometrie	gut	Berthold Technologies GmbH Ametek/Ortec Mirion / Canberra NUVIATech Instruments GmbH / SEA	Kernkraftwerke Radionuklidlabore
Gamma-Kamera	mittelmäßig	GBS ELEKTRONIK GmbH mit VKTA Nuvia Mirion	Kernkraftwerke Forschungszentren
Kalorimetrische Dosimetrie	begrenzt	Forschungsgegenstand	
Passive Neutronmessung	begrenzt	– Mirion – NTES	GSI, WAK
Aktive Neutronmessung	begrenzt	– Mirion – NTES	Wiederaufbereitungsanlagen
Aktive Gammamessung (Neutroninterrogation)	begrenzt	Forschungsgegenstand, weitere Entwicklung und Anwendbarkeit auf rückgeholte Abfälle ist zu beobachten	
Passive Gammamessung des spaltbaren Materials	begrenzt	– Ametek/Ortec – Mirion/Canberra	Kernkraftwerke Wiederaufbereitungsanlagen
Probenahme und Radiochemische Analyse	begrenzt	– Ametek/Ortec – Mirion/Canberra	Kernkraftwerke, Radionuklidlabore

### 6.5.3 Funktionsweise und Einsatz der Messtechnik

Der quantitativen Bestimmung der radiologischen Messgrößen kommt im Rahmen der Charakterisierung eine hohe Bedeutung zu und ist aufgrund der Vielfalt und Verschiedenheit der zu messenden Radionuklide mit umfangreichen Planungs- und Berechnungsschritten zur Auslegung und Optimierung der Leistungsfähigkeit der geeigneten Messverfahren verbunden. Die Komplexität dieser Messverfahren wurde bereits am Beispiel des gammaspektrometrischen Messverfahrens in Kapitel 4.1.3 veranschaulicht.


In den nachfolgenden Kapiteln 6.5.3.1 bis 6.5.3.5 werden die Anforderungen an die Auslegung und Leistungsfähigkeit der radiologischen Messverfahren dargestellt, unter gesonderter Betrachtung der Bestimmung von spaltbaren Stoffen.

#### 6.5.3.1 In-situ-Gammaspektrometrie

Für die Bestimmung der im Gebinde enthaltenen Gesamtaktivität sowie der isotop-spezifischen Aktivität ist der Einsatz von HPGe-Detektoren (HPGe: *High Purity Germanium*) notwendig, wie diese auch in Standard-Gebindemesseinrichtungen üblich sind. Hierzu gehören in der Höhe und im Abstand zum Gebinde fahrbare Detektoren sowie entsprechende Kollimatoren. Eine für das ganze Gebinde gemittelte sowie eine segmentweise Auswertung sind dabei übliche Einzelschritte. Der Einsatz von HPGe-Detektoren ist aktuell hinsichtlich ihrer erreichbaren Energieauflösung die Standardmethode zur Bestimmung der durch Gammaemission messbaren Aktivität.

In Fällen, in denen die Energieauflösung nicht maßgeblich ist (d. h. bei rein quantitativer Messung von bekannten Nukliden wie Co-60 und Cs-137 mit hohem Durchsatz), können z. B. auch NaI- oder CdZnTe-Detektoren eingesetzt werden. Diese Detektortypen der In-situ-Gammaspektrometrie benötigen keine Kühlung, weisen jedoch eine geringere Energieauflösung und somit geringere Nachweisgrenzen als HPGe-Detektoren auf. Im vorliegenden Fall sind diese Detektoren daher im Rahmen der Spezialmessungen, nicht aber der Standardverfahren vorzusehen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 126

In Tab. 47 sind die Ergebnisse von beispielhaft erreichbaren Nachweisgrenzen mit HPGe-Detektoren für jeweils unterschiedliche Nuklide, Messzeiten und Behältergeometrien dargestellt. Dieser Berechnung wurden folgende Randbedingungen zugrunde gelegt:

- Als Nuklide wurden U-235, Cs-137 und Co-60 betrachtet, da sie wichtige Schlüsselnuclide darstellen und jeweils den niedrigen, mittleren und hohen Energiebereich repräsentieren.
- Als Messzeit wurden beispielhaft 2 Stunden angesetzt. Kürzere Messzeiten führen entsprechend zu höheren Nachweisgrenzen (und entsprechend längere Messzeiten zu geringeren Nachweisgrenzen).
- Typische Geometrien und Dichten wurden gewählt aus den erwarteten Geometrien, dabei wurde die VBA (Barytbeton mit einer Dichte von 3,5 g/cm<sup>3</sup>, siehe Kapitel 2.2.1) als Beispiel einer starken Abschirmung mit entsprechend hohen Nachweisgrenzen gewählt.
- Als Messgeometrie wurde eine Fassmessanlage mit kollimiertem HPGe-Detektor mit 40 % relativer Effizienz betrachtet, der Abstand zwischen Fass und Detektor wurde mit 1 m für ein 200-l-Fass gewählt. Der Abstand für die übrigen Geometrien ist aufgrund entsprechend des höheren Radius geringer.
- Für den Strahlungsuntergrund wurden praktische Erfahrungswerte aus einer Anlage ohne eingelagerte Abfälle verwendet.
- Die Gebinde werden als mit einer homogen aktiven Abfallmatrix aus Beton der jeweils angegebenen Dichte befüllt angenommen, wobei diese im Bereich des Fassmantels von einer 3 cm dicken inaktiven Schicht (Konditionierungsmaterial) umhüllt ist.
- Es werden zusätzlich Szenarien zur Messung mit Innenbehältern (IB) betrachtet. Da deren Spezifikationen noch nicht festgelegt sind, wurde ein kleinvolumiger IB betrachtet (Abmessungen: 180 x 90 x 140 cm<sup>3</sup>, Wanddicke: 2 mm Eisen, Volumen: ca. 2,25 m<sup>3</sup>). Die Berechnungen für den IB wurden für folgende Annahmen durchgeführt:
  - IB gefüllt mit kontaminiertem Salzgrus (NaCl mit einer Schüttdichte von 1,5 cm<sup>3</sup> und einer Masse von ca. 3,35 t)
  - IB gefüllt mit nicht kontaminiertem Salzgrus (Schüttdichte: 1,5 cm<sup>3</sup>), in dem sich mittig ein 200-l-Fass gemäß der o.g. Spezifikationen befindet.
 Der Abstand des Detektors beträgt dabei jeweils 1 m zur Außenseite des IB.

Tab. 47: Beispielrechnung zu den erreichbaren Nachweisgrenzen in Bq für In-situ-Gammaspektrometrie für verschiedene, für die erwartete Charakterisierung wichtige Geometrien und Nuklide für zwei unterschiedliche Messzeiten.


Nuklid (Energiebereich)	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Messzeit [h]	Nachweisgrenzen [Bq]					Restriktivster Grenzwert aus EBK [Bq]
			Füllung: Standard-Beton bzw. Salzgrus (NaCl), homogene Aktivitätsverteilung					
			200-l-Fass	400-l-Fass	VBA	200-l-Fass im IB	IB mit Salzgrus*	
U-235 (185,7 keV)	1,0	0,5 2	1,90·10 <sup>4</sup> 6,73·10 <sup>3</sup>	2,68·10 <sup>4</sup> 9,46·10 <sup>3</sup>	3,71·10 <sup>8</sup> 1,31·10 <sup>8</sup>		3,01·10 <sup>4</sup> 1,51·10 <sup>4</sup>	4,0·10 <sup>6</sup>
	2,7	0,5 2	4,80·10 <sup>4</sup> 1,70·10 <sup>4</sup>	6,93·10 <sup>4</sup> 2,45·10 <sup>4</sup>	9,35·10 <sup>8</sup> 3,31·10 <sup>8</sup>	2,56·10 <sup>6</sup> 1,28·10 <sup>6</sup>		
Cs-137 (661,6 keV)	1,0	0,5 2	3,40·10 <sup>3</sup> 1,20·10 <sup>3</sup>	4,60·10 <sup>3</sup> 1,63·10 <sup>3</sup>	8,43·10 <sup>5</sup> 2,98·10 <sup>5</sup>		9,45·10 <sup>3</sup> 4,72·10 <sup>3</sup>	5,1·10 <sup>9</sup>
	2,7	0,5 2	8,32·10 <sup>3</sup> 2,94·10 <sup>3</sup>	1,10·10 <sup>4</sup> 3,88·10 <sup>3</sup>	2,06·10 <sup>6</sup> 7,30·10 <sup>5</sup>	9,54·10 <sup>4</sup> 4,77·10 <sup>4</sup>		
Co-60 (1.173,2 keV)	1,0	0,5 2	2,06·10 <sup>3</sup> 7,29·10 <sup>2</sup>	2,62·10 <sup>3</sup> 9,25·10 <sup>2</sup>	1,34·10 <sup>5</sup> 4,75·10 <sup>4</sup>		7,05·10 <sup>3</sup> 3,53·10 <sup>3</sup>	5,0·10 <sup>9</sup>
	2,7	0,5 2	4,71·10 <sup>3</sup> 1,66·10 <sup>3</sup>	6,40·10 <sup>3</sup> 2,26·10 <sup>3</sup>	3,07·10 <sup>5</sup> 1,09·10 <sup>5</sup>	3,24·10 <sup>4</sup> 1,62·10 <sup>4</sup>		

\* Masse: 3,35 t, Dichte 1,5 g/cm<sup>3</sup>

Bemerkung: Eine niedrigere Nachweisgrenze kann grundsätzlich, wie im obigen Beispiel gezeigt, sowohl über eine höhere Messzeit, also auch über die Verwendung mehrerer Detektoren oder eine Kombination von beidem erreicht werden. Beispielsweise wirkt sich eine Messung mit vier Detektoren statt einem ähnlich aus wie die vierfache Messzeit mit einem Detektor: Beides führt zu etwa einer Halbierung der Nachweisgrenze. Die Verwendung mehrerer Detektoren bietet zudem den Vorteil, dass das Abfallmaterial an verschiedenen Stellen untersucht und daher geometrisch besser verteilt beprobt werden kann.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 127
---	------------

Aus den Ergebnissen in Tab. 47 und dem Vergleich mit den restriktivsten Grenzwerten aus den EBK ergibt sich, dass z. B. IB mit 200-l-Fässern, IB mit Salzgrus und/oder Mischung, sowie insbesondere einzelne 200-l-Fässer mit den in dieser Konzeptplanung vorgesehenen In-situ-gammaspektrometrischen Methoden ausreichend messbar sind. Messzeiten in der Größenordnung von zwei Stunden liefern anhand der Beispielrechnungen dabei schon sehr genaue Ergebnisse im Hinblick auf den Nachweis der Grenzwerte aus den EBK. Auf Basis dieser ersten Berechnungen kann von Messzeiten von 30 bis 60 Minuten für Standardmessungen an IB ausgegangen werden. Für VBA jedoch liegen die Nachweisgrenzen auch nach einer Messzeit von zwei Stunden über dem restriktivsten Grenzwert für U-235. Insbesondere für Nuklide im niedrigen Energiebereich stellt die hohe Abschirmwirkung des Behältermaterials eine Begrenzung der Anwendbarkeit zerstörungsfreier Messungen dar.


Zur detaillierteren Auslegung der Messanlage für die In-situ-Gammaspektrometrie sind somit folgende Randbedingungen (rechnerisch) zu ermitteln:

- Die maximal anzunehmende Abschirmdicke:  
Je dicker das zu durchstrahlende Material, desto länger müssen die Messzeiten gewählt werden. Insbesondere bei Nukliden mit niedrigen Energien (< 100 keV) muss auch die Elementzusammensetzung des zu durchstrahlenden Materials berücksichtigt werden (beispielsweise besitzt Blei bei gleichem Gewicht eine bessere Abschirmwirkung als Beton).
- Die Material- und Dichteverteilung:  
Kenntnisse hierzu ermöglichen die Berücksichtigung der lokalen Absorption
- Die Aktivitätsverteilung:  
Die Aktivitätsverteilung kann neben den gewonnenen Informationen aus den ODL-Messungen auch über entsprechende In-situ-Messverfahren (v.a. Segmentmessung<sup>5</sup>) direkt abgeschätzt werden.
- Die zu erreichende Nachweisgrenze:  
Diese ergibt sich aus den Vorgaben der anzuwendenden Endlagerungsbedingungen. Hierbei gilt: Je niedriger die Nachweisgrenze, desto höher sind die Messzeiten zu wählen.
- Überlagerungseffekte durch Nuklide mit etwa gleichen Energien sowie der lokalen Hintergrundstrahlung während der Messung, insbesondere durch in der Nähe gehandhabte radioaktive Abfälle:
  - Die Hintergrundstrahlung kann durch entsprechende Abschirmungen verringert werden.
  - Bei einer In-situ-gammaspektrometrischen Messung werden grundsätzlich alle gamma-emittierenden Nuklide gemessen. Je heterogener die Nuklidzusammensetzung ist, desto länger sind die Messzeiten. Ggf. sind aufwändige Kalibrier- und Auswertemethoden anzuwenden, welche ebenfalls den Messzeiten zugerechnet werden müssen.

Die Auslegung der gammaspektrometrischen Messung hängt somit sehr stark von der Nuklidzusammensetzung ab. Gamma-Strahler mit hohen Energien (sog. „harte Gamma-Strahler“) sind im Rahmen der Auswertung des gemessenen Spektrums gut zu identifizieren. Beispielsweise können die typischerweise in radioaktiven Abfällen insbesondere aus der Kernenergienutzung vorkommenden Radionuklide Co-60 und Cs-137 als Schlüsselnuklide in der Regel sehr gut nachgewiesen werden. Schwächere Gamma-Strahler (bspw. Am-241), oder Gamma-Strahler, welche ein ähnliches Energiespektrum aufweisen (insbesondere um die 511 keV) sind hingegen nur mit hohem Aufwand und unter Anwendung spezieller Kalibrier- und Auswertemethoden zu detektieren.

<sup>5</sup> Eine Form der In-situ-gammaspektrometrischen Gebindemessung, bei der durch Kollimation jeweils nur ein gewisser Teil (Segment) des Gebindes untersucht wird, in das das Gebinde unterteilt wird. Dies erlaubt eine genauere Bestimmung der lokalen Aktivitätsverteilung und (soweit diese Informationen verfügbar ist) der Absorptionseffekte. Durch deren Berücksichtigung lassen sich präzisere Auswertungsergebnisse für die Aktivitäten erzielen, allerdings erfordert das Verfahren auch eine hohe Zahl an Einzelmessungen und ist dementsprechend zeitaufwändig.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 128

Die Schlüsselnuclide bieten auch den Vorteil bei bekannten Korrelationen dieser Nuclide zu anderen, nicht direkt bzw. zerstörungsfrei messbaren Nukliden (als Nuklidvektoren bezeichnet) indirekt auf diese zu schließen. Diese Nuklidvektoren können unter passenden Umständen aus der Probenanalyse oder Daten aus der ASSEKAT abgeleitet werden.

### 6.5.3.2 Gamma-Kamera

Die Gamma-Kamera dient der räumlichen Sichtbarmachung von Aktivitätsverteilungen in losen rückgeholtem radioaktiven Abfallmaterial. Da die Strahlung kollimiert wird (d. h. mit einer speziellen, absorbierenden Blende aufgenommen wird), ist dieses Verfahren weder für sehr schwach aktive Abfälle noch für eine genaue quantitative Bestimmung geeignet. Für die Aktivitätsbestimmung gelten die gleichen Anforderungen wie für andere Messverfahren, welche Gammastrahlung messen (s. Kapitel 4.1.3 und Kapitel 6.5.3.1). Sehr gut geeignet ist das Verfahren zur Identifikation räumlich isolierter Strahlenquellen in inhomogen zusammengesetzten losen Abfallmaterial, sowie für eine Indizierung, wie die Aktivität in diesem Material verteilt ist. Ein solches System sollte daher speziell in Hantierungszellen genutzt werden, wo lose vorliegendes, inhomogenes radioaktives Abfallmaterial auf einem Sortiertisch gemessen und anhand der Ergebnisse sortiert werden kann.

### 6.5.3.3 Neutronmessverfahren

Die Neutronmessverfahren dienen vor allem der Massenbestimmung von Neutron-emittierenden Nukliden.

Zur Messung der Neutronen können zwei übliche Detektortypen genutzt werden:

- He-3 Zählrohre: Dies sind klassische Proportionalzählrohre wie für ionisierende Strahlung, die durch Füllung mit He-3 empfindlich auf Neutronen reagieren.
- Spaltkammern: Dies sind ebenfalls Proportionalzählrohre, deren Innenseite mit ca. 200 mg U-235, Anreicherung > 90 % belegt sind. Neutronen spalten das Uran und die Spaltprodukte ionisieren dann das Zählgas. Spaltkammern haben den Vorteil, dass sie nur eine geringe Gammaempfindlichkeit haben. Sie sind daher sehr gut geeignet für Messungen an abgebrannten Brennelementen.

Mit den Neutronmessverfahren werden die freigesetzten Neutronen aus der Spontanspaltung bzw. der induzierten Spaltung von spaltbaren Materialien (Kernbrennstoffe, Uran, Transurane) nachgewiesen. Sie sind daher üblicherweise spezialisiert und in der Auslegung somit begrenzt auf deren Nachweis.


Die Bestimmung der Masse an Spaltmaterial bei den zerstörungsfreien Messmethoden findet grundsätzlich durch eine zählende Messung der emittierten Neutronen statt, von welchen unter Berücksichtigung von Nachweiswahrscheinlichkeit, Absorption, Moderation etc. auf die zugrundeliegende Aktivität des Materials geschlossen werden kann. Aus dieser kann dann über bekannte spezifische Aktivitäten der Isotope auf deren Masse geschlossen werden. Die Umrechnung erfolgt entsprechend ausgelegter theoretischer Simulationsrechnungen für die jeweilige Messsituation oder kann aus Messungen bekannter Materialien abgeleitet werden.

Diese Massenbestimmung kann bei bekannten Nukliden direkt in einen Aktivitätswert umgerechnet werden, wodurch das Verfahren grundsätzlich auch zur Aktivitätsbestimmung eingesetzt werden kann. Das Messverfahren ist jedoch dahingehend nur begrenzt zur Aktivitätsbestimmung einsetzbar, da anhand der Neutronenstrahlung die emittierenden Isotope nicht bzw. nur schwer unterschieden werden können (z. B. aufgrund gleicher Neutron-Energiespektren, geringer Energieauflösung für Neutronen, störender Einfluss des Matrix-/Moderatormaterials). Die ermittelte Aktivität aus den zerstörungsfreien, radiologischen Messungen wird daher üblicherweise in einem bestimmten Äquivalent angegeben, zum Beispiel

- einer praxisüblich definierten Kombination aus Pu-239, Pu-240 und Pu-241, auch kurz als Pu-240-effektiv bzw. Pu-eff bezeichnet,
- der äquivalenten Neutronen-Aktivität, die 1 Gramm Curium erzeugen würde.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 129
--	------------

Die typischen Nachweisgrenzen für die zerstörungsfreien Methoden liegen dabei (je nach Nuklid) im Bereich von einigen Milligramm bis einigen Gramm Pu-effektiv Spaltmaterial bei Messzeiten von mindestens 20-30 Minuten und mehr (ca. 1 Stunde).

Für die Bestimmung der genauen Nuklidzusammensetzung muss diese entweder aus der Abfalldokumentation/-identifizierung bekannt sein oder durch eine Probenahme mit anschließender Durchführung einer Laboranalyse ermittelt werden.

Da es sich um ein zerstörungsfreies Messverfahren handelt, welches den gesamten zu messenden Abfall innerhalb eines IB erfassen kann, kann hiermit eine verlässliche Aussage über den jeweiligen Gesamtinhalt der spaltbaren Stoffe getroffen werden. Das passive Verfahren kann mit der entsprechenden Neutronenmesstechnik direkt mit der (passiven) Gammaskopmetrie kombiniert werden und dient damit direkt dem Nachweis vor allem von Plutonium und weiteren Transuranen. Für das aktive Verfahren wird die gleiche Messtechnik genutzt, kombiniert mit passenden Neutronquellen.

Die Auslegung und Leistungsfähigkeit der passiven und aktiven Neutronmessungen werden nachfolgend näher erläutert.

#### 6.5.3.3.1 Passive Neutronmessung aus der Spontanspaltung

Bei schweren Elementen ab Thorium, wie Spaltmaterial und Transurane, ist die spontane Spaltung ein möglicher Zerfallskanal. Die dabei emittierten Neutronen können zur Bestimmung des Nuklidgehalts gemessen werden. Dazu werden Neutronenzählrohre genutzt, welche im Moderatormaterial eingebettet sind, um die Ansprechwahrscheinlichkeit deutlich zu erhöhen. Ideal sind Konfigurationen, die eine große Anzahl von Zählrohren aufweisen, welche die Probe umschließen.

Das Verfahren ist umso empfindlicher, je höher die Neutronenspaltungsrate ist. Beispielsweise können Nachweisgrenzen von 0,5 mg Pu-239 erreicht werden (Wert aus praktischer Erfahrung von NTES). Für U-235 ist daher diese Methode weniger empfindlich und nur eingeschränkt anwendbar. Die nötigen Messzeiten für ein Gebinde liegen dabei mindestens im Bereich von 30 bis 60 Minuten.

#### 6.5.3.3.2 Aktive Messung des Neutronenvervielfältigungsfaktors mit externer Neutronenquelle

Um spezifisch auf Spaltmaterial (nicht nur allgemein auf Neutronenemitter) empfindlich zu sein, werden aktive Neutronmessungen eingesetzt. Hierzu wird das zu messende Material mit einer externen Neutronenquelle bestrahlt und die emittierte Neutronenstrahlung gemessen. Beinhaltet die Probe Spaltmaterial, so steigt die Neutronenemission an, verglichen zu der Messung von Proben ohne Spaltmaterial. Auf diese Weise lassen sich Spaltmaterial (passiv bestimmt) von Material, das eine hohe induzierte Spaltungsrate aufweist, unterscheiden.

Die Neutronenbestrahlung wird üblicherweise gepulst durchgeführt und dabei die sofortige Reaktion, die verzögerte Reaktion, die Abfallzeit und die langfristigen Veränderungen über viele Pulse aufgenommen. Aus der resultierenden Signatur der gemessenen Neutronen lässt sich das enthaltene Spaltmaterial auf dem für die Charakterisierung benötigten Niveau ermitteln.


Alle aktiven Messungen sind allerdings sehr aufwändig zu implementieren, da die Reaktionsrate von der Neutronengeschwindigkeit abhängt. Diese wiederum ist zum einen von der Messmatrix abhängig, zum anderen müssen zur Steigerung der Wirkungsquerschnitte die Neutronen moderiert werden. Den Moderationsfaktor für unterschiedliche Gebinde unter kontrollierten Bedingungen zu halten, ist entweder aufwändig oder führt zu großen Unsicherheiten hinsichtlich eines quantitativen Ergebnisses. Generell ist sowohl der technische als auch der analytische Aufwand hier deutlich höher als bei passiven Messungen und legt daher nicht nahe, aktive Methoden als Standard für alle Gebindemessungen zu nutzen.

#### 6.5.3.3.3 Aktive Koinzidenzmessung der induzierten Gamma-Emission mit externer Neutronenquelle

Eine ähnliche Methode nutzt für den Nachweis von aktiv induzierter Neutronenanregung der Kerne gammaspektroskopische (Koinzidenz-)Messungen. Nach ähnlichem Prinzip wie für Neutronmessung wird hier die Reaktion der Gamma-Emission des Materials auf externe Neutron-



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 130
--	------------

enstrahlung ermittelt und analysiert. Beide Methoden (Neutron- und Gamma-Messung) sind für die Bestimmung des spaltbaren Materials in den rückgeholten Abfällen geeignet und können auch in einem Messsystem kombiniert werden.

#### 6.5.3.4 Auswahl geeigneter Messverfahren zur Bestimmung von spaltbaren Stoffen

Der Nachweis von spaltbaren Stoffen ist sowohl im Rahmen der Kernmaterialüberwachung gemäß EURATOM-Richtlinie (s. Kapitel 3.3.4) als auch zur Sicherstellung der Unterkritikalität (s. Kapitel 3.3.5) erforderlich.

Für die Auswahl der o.g. Messverfahren zur Bestimmung der einzelnen, spaltbaren Stoffe bieten sich folgende Nuklid(gruppen)-spezifische Messverfahren an:

##### Thorium

Auftretende Thorium-Isotope können das natürliche Th-232 sein, oder andere Isotope aus Zerfallsketten höherer Nuklide, wovon insbesondere Th-232 sehr schwer zerstörungsfrei nachweisbar ist (aufgrund geringer Gamma- und Neutronemissionsraten). Dessen Nachweis muss also i.d.R. über Probenanalyse und geeignete schätzende Verfahren (s. Kapitel 6.6) erfolgen.

##### Uran (abgereichert, Natur und verschiedene Anreicherungsgrade)

Uranisotope sind durch passive Neutronmessung (insbesondere der Spontanspaltung) nicht hinreichend nachweisbar und erfordern eine aktive Neutroninterrogation. Probenanalysen und geeignete schätzende Verfahren (s. Kapitel 6.6) sollten aber, wenn möglich, in jedem Fall mit in die Analyse mit einbezogen werden.

##### Plutonium und weitere Transurane

Die Plutoniumisotope Pu-238, Pu-240 und Pu-242 können mit passiver Neutronmessung hinreichend gut bestimmt werden. Für die übrigen Transurane können weitere Neutronmessmethoden, wie z. B. Koinzidenzmessungen angewendet werden. Koinzidenzmessungen erkennen und differenzieren die unterschiedlichen Signaturen (sog. „die-away-time“) der Nuklide. Die Kombination dieser Messmethoden mit einer Probenanalyse ist auch hier vorzuziehen.

Wie Kapitel 2.1.3 entnommen werden kann, sind mittlere Konzentrationen pro Gebinde in Größenordnungen von 1 kg Thorium/Gebinde, 1-2 kg Uran/Gebinde, sowie 0,5 g Pu-ges/Gebinde zu erwarten.

Die nachzuweisende Genauigkeit (d. h. die zu unterschreitenden Grenzwerte der Endlagerbedingungen, hier die EBK) hängt stark von den Nukliden sowie damaligen Konditionierungsverfahren ab und liegt in den meisten Fällen (bis auf einige Transurane) im Bereich von ca. 1 – 100 g/Gebinde. Damit bieten diese direkten Neutronmessverfahren eine ausreichende Genauigkeit für die Anforderungen an die Charakterisierungsmessung.

#### 6.5.3.5 Radiochemische Laboranalyse an Proben

Für die radiochemische Laboranalyse an Proben können neben konventionell-chemischen Verfahren insbesondere folgende Messverfahren an den Proben zum Einsatz kommen:


- Zählende Messung von Alpha-, Beta- und Gamma-Emission über Plastikszintillationszähler (ähnlich wie in Kontaminationsmonitoren und Wischtestauswertern)
- Alpha-, Beta- und Gammaspektrometrie (i.d.R. jeweils mit Halbleiterdetektoren)
- Insbesondere zur Messung von Beta-Strahlung werden Flüssigszintillationszähler (LSC: *liquid scintillation counter*) eingesetzt
- Die chromatographische Massenspektrometrie kann ferner zur Messung der Isotopenverhältnisse insbesondere im Bereich der Transurane genutzt werden.
- Auch die Fingerprint-Gammaspektrometrie kann im Rahmen der Probenanalyse zur Bestimmung von Radionuklid- und Spaltstoffgehalten als Teil der radiochemischen



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 131



**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Untersuchung vorgesehen werden. Bei diesem Verfahren wird eine passive gammaspektrometrische Messung am Material durchgeführt, wie sie ebenfalls für die Gamma-Aktivitätsmessung zum Einsatz kommt. Gemessen werden für den Spaltstoff charakteristische „fingerprints“, d. h. spezifische Spektren, die typisch für die jeweiligen Isotope und abhängig von der jeweiligen Abfallzusammensetzung sind. Dies ist insbesondere dann anwendbar, wenn der Spaltstoff noch nicht gebrannt hat. Das Verfahren hat sich bei der Überwachung von Transport und Lagerung von frischen Spaltstoffen etabliert und wird zur Aufdeckung von Spaltstoffschmuggel herangezogen. Hierzu werden (teils mobile) Gammaskpektrometer, meist HPGe Detektoren, eingesetzt.

Im Vergleich zu den zerstörungsfreien Messmethoden im Gebindemaßstab stehen hier somit mehrere Messverfahren zur Verfügung, da bei der Analyse des Probenmaterials keine Abschirmeffekte mehr berücksichtigt werden müssen und somit auch schwer messbare Nuklide bestimmt werden können.

Bei Messgut mit hoher Dichte und niedriger Energie der Gammalinien (s. Kapitel 4.1.3) ist daher eine Probenentnahme zur Nuklidbestimmung durchzuführen.

Demgegenüber steht der Nachteil, dass die Proben nur einen kleinen Bereich des rückgeholten Abfallmaterial repräsentieren, während Messungen im Gebindemaßstab ein Gesamtbild erzeugen.

Die Probenahme mit radiochemischer Analyse wird daher als unterstützendes Messverfahren zu den zerstörungsfreien Messungen zur Identifikation und quantitativen Bewertung des Nuklidinhalts angewendet. Die Ergebnisse aus der Probenahme können mit den Ergebnissen (für direkt messbare Nuklide) aus der zerstörungsfreien Charakterisierung abgeglichen, korreliert und zur Kalibrierung der zerstörungsfreien Methoden und Auswerteverfahren verwendet werden. Umgekehrt liefern die zerstörungsfreien Messungen Informationen über homogene Bereiche in der jeweils vorliegenden Abfallstruktur, welche die Anzahl der erforderlichen Proben vorgeben und zur Bewertung der Repräsentativität der Probenahme herangezogen werden müssen.

Spezielle Verfahrensschritte zur Entnahme und Analyse von flüssigen und gasförmigen Proben werden in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt.

#### 6.5.3.5.1 Beprobung von Flüssigkeiten

Große Mengen an flüssigen Abfällen werden in Flüssigkeitsbehältern gefasst, aus welchen die Proben mittels Spritze entnommen und in Messpipetten für chromatographische oder elektroanalytische Messungen (s. Kapitel 6.4.3.2) aufgegeben werden. Je nach Feststoffanteil ist vor der Analyse zunächst eine Phasentrennung (Fällung und Sedimentation oder Verdampfung) in flüssige und feste Bestandteile vorzunehmen.

Kleinere Mengen an Flüssigkeiten, welche in rückgeholten Abfällen detektiert wurden, werden je nach Konsistenz und Menge zur Beprobung durch Aufsaugen mittels Spritze oder mit einem saugfähigen Material (Zellulose, Glasvlies oder Kunststoffvlies) entnommen. Die mittels saugfähigem Material aufgenommenen Flüssigkeiten können zur Abschätzung der Zählrate mit einem Kontaminationsmonitor zur Bestimmung der alpha- und beta-/gamma-Kontaminationen gemessen werden. Die Wahl des saugfähigen Materials und die Größe der Probe hängt dabei von dem geplanten Analyseverfahren ab.

#### 6.5.3.5.2 Beprobung der Gasphase

Die Entnahme einer Gasprobe erfolgt nach Anbohren und mittels Spritze. Hierbei ist darauf zu achten, dass im Falle eines Behälterüberdrucks dieser nicht unkontrolliert entlastet wird und es zu einer Materialfreisetzung kommt. Die Beprobung der Gasphase sollte daher vorzugsweise zusammen mit der Druckentlastung durchgeführt werden.

Die entnommene Gasprobe wird anschließend in den Laborbereich transportiert und mittels Gaschromatographie analysiert, ob sich Feuchtigkeit oder Gase aus Gär- oder Faulprozessen, Leichtmetallkorrosion mit Wasserstoffbildung oder Radiolyse mit der Bildung von Wasserstoffgas in der Probe befinden.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.		
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 132



Sofern die gaschromatische Untersuchung keine Auffälligkeiten aufweist, wird das Bohrloch mit einem Sinterfilter verschlossen. Werden Kohlendioxid, Methan, Wasser oder Wasserstoff in der Gasprobe nachgewiesen, so wird der rückgeholte Abfall im Innen- oder Messbehälter zur Konditionierung (Trocknung) weitergeleitet.

#### 6.5.4 Anwendungsorte innerhalb der Charakterisierungsanlage

Die **In-situ-Gammaspektrometrie** ist als Standardmessung in mehrfacher Ausführung zur Steigerung des Durchsatzes vorzusehen und sollte im Anschluss an die zerstörungsfreien Messungen zur Dichteverteilung und Bewertung der inneren Struktur durchgeführt werden, da diese Informationen zur genauen Auslegung der Messstation herangezogen werden sollten.

Gleiches gilt für die **passive und aktive Neutronenmessung** zur Bestimmung von spaltbarem Material.

Eine **Gamma-Kamera** kann optional dort in einer Hantierungs- bzw. Heißen Zelle vorgesehen werden, wo eine Sortierung des rückgeholten radioaktiven Abfallmaterials vorgenommen wird. Sie wird über dem Sortiertisch angebracht, und identifiziert von dort die Aktivitätskonzentration von Schlüsselnucliden in den jeweiligen Abfallfragmenten.

Die **Probenahme** kann jederzeit und bei Bedarf im Rahmen der Vorbehandlung und der Konditionierung vorgenommen werden. Die Probeanalyse erfolgt in dem dafür vorgesehenen Laborbereich.

#### 6.6 Schätzende Verfahren zur radiologischen Auswertung (zu Messkategorie D)

In vielen Fällen bei der Bestimmung von Nuklidaktivitäten und Kernbrennstoffgehalten – aber ggf. auch anderen Größen, wie chemischen Verbindungen – nicht für alle Nuklide bzw. Einzelmessgrößen eine direkte (zerstörungsfreie), messende Bestimmung gegenüber dem dafür notwendigen (teils erheblichen) technischen Aufwand sinnvoll, gerade unter Berücksichtigung des Ziels einer zügigen Rückholung und Charakterisierung. Auch der Umfang der aufwändigen und zeitintensiven Probenahme und -analyse ist dafür so gut wie möglich einzugrenzen. In diesen Fällen ist die Zuhilfenahme verschiedener schätzender Verfahren ein wichtiges Werkzeug zur Bereitstellung der gewünschten Effizienz der Charakterisierung. Gemäß der EBK zugehörigen Produktkontrolle [28] ist diese Vorgehensweise möglich und (insbesondere für Altabfälle) explizit vorgegeben.


Eine grundlegende Randbedingung bei der Anwendung dieser schätzenden Verfahren in der radiologischen Messkategorie ist die Anzahl, Art und die zugehörigen Aktivitätsgrenzwerte der zu betrachtenden Nuklide, die aus den entsprechenden Endlagerungsbedingungen hervorgehen. Im Fall der EBK [27] wurde ein Nuklidspektrum von 156 Nukliden untersucht, aus welchen wirksame Begrenzungen für 108 Nuklide abgeleitet wurden. Für diese sind (sowohl bezogen auf direkt zu messende als auch schätzende Verfahren) somit jeweils passende Nachweismethoden zu konzipieren, die ausreichend leistungsfähig sind, um die vorgegebenen Grenzwerte mit einer hinreichenden Genauigkeit zu charakterisieren.

Die hierfür zu erreichenden Nachweisgrenzen sollten dabei deutlich unterhalb der jeweiligen Grenzwerte liegen, um eine zu konservative Ausschöpfung der Bilanzierungswerte zu vermeiden. Dies würde sonst zu einer deutlichen Überschätzung des wahren Aktivitätsinventars („Scheinaktivitäten“) führen, welche sich negativ auf die Ausschöpfung des gesamten Aktivitätsinventars in der Bilanzierung für die Endlagerung auswirken kann [51]. Da die Lagerkapazität eines Endlagers begrenzt ist, sollten diese Scheinaktivitäten möglichst klein gehalten werden. Dies gelingt durch die Wahl passender Nachweisgrenzen bei hinreichend hohen Messgenauigkeiten.

In diesem Kapitel werden dazu die hauptsächlichen, bekannten und etablierten schätzenden Verfahren zur radiologischen Auswertung vorgestellt. Wo immer möglich, sollten zukünftig weitere



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 133
--	------------

Methoden für diese und andere Messkategorien herangezogen werden. Die Darstellung der Methoden in diesem Kapitel hat also keinen ausschöpfenden Charakter.

Die hier dargestellten – unter Berücksichtigung der vorliegenden Kenntnisse zu den Abfalleigenschaften möglichen – schätzenden Verfahren

- Ausschluss durch Zerfall (unter Zugrundelegung der Datenbank ASSEKAT),
- Gegenüberstellung des nuklidspezifischen Gesamtinventars in den ELK in Bezug auf die restriktivsten Grenzwerte aus den EBK,
- Betrachtung der Zusammenhänge von Nuklidaktivitäten über Zerfallsketten und ähnliche Korrelationen,
- die Identifikation von Nuklidvektoren aus und der Rückschluss von leicht messbaren auf schwer messbare Nuklide

sowie die hierzu zugrunde gelegten Annahmen und Berechnungen werden nachfolgend näher erläutert.

Die Anwendung der Methoden muss dabei grundsätzlich durch jeweilige Experten erfolgen, die mit der Analyse sowohl der Daten aus der Altdokumentation, als auch der Charakterisierungsmessungen betraut sind. Da die schätzenden Verfahren i.d.R. nicht automatisiert werden können, sondern jeweils eine entsprechende Beurteilung und Anwendung durch einen Experten benötigen, sind sie daher als Teil des Datenauswertungsprozesses im Rahmen des Charakterisierungsverfahren vorzusehen. Die notwendigen Arbeiten bestehen dabei:

- in vorbereitender Analyse von Daten der Altdokumentation (z. B. der Herleitung von Nuklidvektoren)
- in einem Anteil der Analyse der zu charakterisierenden Abfälle in der CA, in der unter anderem die o. g. Ergebnisse verwendet werden, sowie bei Notwendigkeit weitere Analysen veranlasst werden.

Die Analyse von Daten zur Altdokumentation kann so früh möglich (d. h. auch schon vor der konkreten Rückholung und dem Charakterisierungsprozess) erfolgen, was aus Effizienzgründen empfohlen wird.

### 6.6.1 Ausschluss durch Zerfall

Wie in Kapitel 2.1.1 beschrieben, sind in der ASSEKAT 9.3.1 [56] insgesamt 155 Nuklide katalogisiert, wovon für 87 Nuklide zum Stichtag 01.01.2033 eine Aktivität größer als 0 Bq berechnet wird. Die übrigen Nuklide sind entweder zum Stichtag auf vernachlässigbar geringe Aktivitäten zerfallen oder deren Aktivitäten werden aufgrund fehlender Informationen oder Berechnungsroutinen innerhalb der ASSEKAT nicht berechnet. Insbesondere für die ELK 4/750 liegen nur wenige berechnete Aktivitäten zu den Chargen vor. Dies liegt insbesondere an der nur lückenhaften Dokumentation in der Anfangszeit der Einlagerungen in dieser ELK [30], [33].

Im Rahmen der detaillierten Planungen sind jedoch neuere Kenntnisse bzw. Überarbeitungsstände der Datenbank ASSEKAT zu berücksichtigen, welche eindeutig zwischen nicht berechneten und nicht mehr auswertbaren chargenbezogenen Aktivitäten unterscheiden.

### 6.6.2 Gegenüberstellung des nuklidspezifischen Gesamtinventars der ELK in Bezug zu Grenzwerten aus den EBK

Des Weiteren gibt es in der ASSEKAT 9.3.1 [56] Nuklide, welche im Hinblick auf das Gesamtinventar einen geringen Anteil besitzen. Insbesondere wenn diese Nuklide messtechnisch nur schwer detektierbar sind, kann eine konservative Abschätzung auf Basis der ASSEKAT 9.3.1 eine geeignete schätzende Methode auf Nuklidebene darstellen.

Eine solche Auswertemethode wurde auf Basis der ASSEKAT 9.3.1 wie folgt durchgeführt:



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 134

Die Summe der nuklidspezifischen Einzelaktivitäten im Gesamtinventar der ASSEKAT 9.3.1 zum Stichtag 01.01.2033 wurde jeweils durch die Anzahl der Gebinde, in welchen die jeweiligen Nuklide gemäß der ASSEKAT vorkommen, geteilt. Berücksichtigt wurden hierbei nur die in Kapitel 6.6.1 identifizierten 87 Nuklide, deren nuklidspezifische Aktivität pro ELK größer Null ist.

Der berechnete Mittelwert für ein Gebinde wurde mit den restriktivsten Grenzwerten gemäß der Auswertung aus Kapitel 5.4.1 bzw. Anhang 4 abgeglichen. Da die Grenzwerte der EBK für einige Nuklide (z. B. H-3 und C-14) in Abhängigkeit vom Zustand der Behälter und des Abfalls variieren können, wurde hierfür stets der jeweils restriktivste Grenzwert zur Gegenüberstellung herangezogen.

Folgende vorläufige Ergebnisse lassen sich hieraus ableiten und sind im Rahmen der Entwicklung des Behälterkonzeptes zur Herleitung der Anforderungen an die Behälterzulassung detaillierter zu betrachten:

- Nuklide aus dem Asse-Inventar, deren mittlere Aktivitäten pro Gebinde zum Stichtag weit unter den restriktivsten Grenzwerten gemäß der EBK liegen, können vernachlässigt werden.
- Nuklide, deren mittlere Aktivität pro Gebinde im Bereich oder oberhalb des restriktivsten Grenzwertes liegt (insbesondere Uran, die Transurane und deren Zerfallsprodukte, sowie Cs-137/Y-90 und Sr-90) sind im Rahmen der Charakterisierung durch Messungen zu bestimmen.

Die vollständige Ergebnistabelle hierzu ist in Anhang 5 dargestellt. Zur besseren Darstellung wurde hier der Log10 des Verhältnisses des Asse-Inventars zum restriktivsten Grenzwert aus den EBK gewählt.

Anhand dieser Gegenüberstellung können Nuklide mit niedrigem bis hohem Anteil am Gesamtinventar über entsprechende Messverfahren bestimmt werden, während Nuklide mit im Vergleich zu den Grenzwerten vernachlässigbaren Aktivitäten anhand der Informationen aus der ASSEKAT bilanziert und – wenn sie nicht ohne Aufwand zerstörungsfrei bestimmt werden können – von der messtechnischen Bestimmung mit zerstörungsfreien Verfahren ausgenommen werden können. Um hierfür Vertrauensbereiche aufbauen zu können und diese Vorgehensweise zu verifizieren, sind diese Nuklide stichprobenartig und beispielsweise für ausgewählte Chargen aus jeder ELK im Rahmen der radiochemischen Analyse zu quantifizieren und mit den Annahmen auf Basis der Daten in der ASSEKAT abzugleichen.

Die Anwendbarkeit und Genehmigungsfähigkeit dieser Herangehensweise ist mit der Genehmigungsbehörde frühzeitig abzustimmen.

Neben der Einbeziehung aller neueren Kenntnisse (insbesondere den in der ASSEKAT aufgrund unvollständiger Datenlage bislang nicht berechneten Aktivitäten) sind zur Gegenüberstellung auch die dann geltenden Grenzwerte aus den entsprechenden Endlagerungsbedingungen heranzuziehen.

### 6.6.3 Zusammenhänge von Nuklidaktivitäten über Zerfallsketten und ähnliche Korrelationen


In Anhang 8 sind eine Reihe von Korrelationen zwischen den verschiedenen Nukliden erkennbar. Diese resultieren zum größten Teil aus den in der ASSEKAT berechneten Zerfallsketten. Diese Zerfallsketten können zur Berechnung der Aktivitäten von Zerfallsprodukten verwendet werden, sodass diese nicht messtechnisch bestimmt werden müssen.

Hierbei ist jedoch zu bewerten, inwiefern von einem radiologischen Zerfallsgleichgewicht ausgegangen werden kann. Eine jeweilige Einzelfallbetrachtung an der Zerfallskette muss daher die vorliegenden Informationen über den eingelagerten radioaktiven Abfall berücksichtigen (z. B. Herkunft, ggf. abgelaufene chemische Reaktionen etc.).

Auch die Bildung relevanter Mengen von Nukliden durch Aufbaureaktionen, welche in der ASSEKAT bisher nicht implementiert wurden, sollte hierbei berücksichtigt werden.

Im Rahmen der Charakterisierung können die Ergebnisse der Bewertungen auf Basis der Daten in der ASSEKAT anhand stichprobenartiger Analysen (Probenahmen) verifiziert und weiter verbessert werden.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 135

#### 6.6.4 Nuklidvektoren und Rückschluss von leicht auf schwer messbare Nuklide

Es ist in einem weiteren Analyseschritt zu überprüfen, welche Nuklidvektoren direkt aus den chargenspezifischen ASSEKAT-Informationen abgeleitet und für die weitere Verwendung als schätzendes Verfahren in der Charakterisierung zur Anwendung kommen können. Dies erfordert eine umfangreichere, statistische und auf die Nuklideigenschaften bezogene Analyse.

Hierzu ist, neben der Auswertung der Originaldokumente zur Einlagerung, eine entsprechende statistische Analyse dieser Daten notwendig, die in weiteren Planungsschritten erfolgen sollte. Diese sollte dabei insbesondere auch die Ablieferer bzw. die Herkunft der eingelagerten Chargen in Betracht ziehen, da bestimmte Chargen herkunftsspezifische Nuklidvektoren aufweisen. Insbesondere dann, wenn Nuklidvektoren dieser Chargen anteilig anhand direkter Messungen (wie z. B. Gammaskopimetrie) identifiziert werden können, können auf Basis der Messergebnisse die übrigen Nuklide des jeweiligen Nuklidvektors berechnet werden und weitere Messverfahren hierdurch ersetzen. Eine genauere Beschreibung der grundsätzlichen Methodik wird dazu in Anhang 8 dargestellt.

#### 6.6.5 Weitere potenziell geeignete Methoden

Generell sollten auch ggf. weitere Methoden zur Abschätzung gerade von schwer messbaren Nukliden genutzt werden, wo immer dies möglich ist. Dies können insbesondere schätzende Verfahren auf Basis der Überarbeitung der ASSEKAT, oder neu entwickelte, messtechnische Methoden sein. Die Produktkontrolle der EBK ([28], [29]) beispielsweise weist bezüglich der schätzenden Verfahren für Altabfälle explizit aus, dass diese aufgrund der meist nicht mehr praktikablen Charakterisierung in solchen Fällen zur Anwendung kommen dürfen. Die Annahmen für die schätzenden Verfahren können hierbei fallspezifisch sowohl auf den Ergebnissen der zerstörungsfreien Messungen basieren als auch aus den Informationen aus der ASSEKAT-Datenbank abgeleitet werden. Wo Kenntnisse gänzlich fehlen, sind stattdessen konservative Annahmen in die weiteren Planungen mit aufzunehmen.

Insbesondere für sehr schwer messbare Nuklide in bereits fixiertem Abfallmaterial (wie z. B. H-3 und C-14) ist eine konservative Abschätzung auf Basis der ASSEKAT-Informationen oder anderer, repräsentativer Daten und daraus abgeleiteter konservativer Auslegung des Konditionierungsverfahrens zielführender, als eine messtechnisch sehr aufwändige Bestimmung, insbesondere für Einzelfälle. Voraussetzung hierfür ist, dass das zu betrachtende Gebinde der Altdokumentation zugeordnet werden kann. Die Vorgehensweise ist zu begründen und ggf. mit der Genehmigungsbehörde für den jeweiligen Anwendungsfall festzulegen.


#### 6.7 Zusammenfassung geeigneter Messverfahren zur Nuklidbestimmung

Die Zusammenstellung grundsätzlich geeigneter Messverfahren ist nuklidspezifisch in Tab. 48 angegeben. Für eine große Anzahl an Nukliden sind mehrere Messverfahren geeignet. In Abhängigkeit der vorliegenden Abfalleigenschaften (heterogene Zusammensetzung, Abschirmmaterial) ist die Anwendbarkeit und Reihenfolge dieser Verfahren im Einzelfall zu entscheiden. Insbesondere die schätzenden Verfahren eignen sich für viele Nuklide, da hierbei die jeweiligen nuklidspezifischen messtechnischen Beschränkungen entfallen. Diese Verfahren sind im Vorfeld der Messverfahren anzuwenden, um den Analyseumfang – wo möglich – begründet eingrenzen zu können.

Tab. 48: Zuordnung grundsätzlich geeigneter Messverfahren für die Nuklide in der Schachanlage Asse II.

Radio-Nuklid	Geeignete Messverfahren:				Schätzende Verfahren (s. Kapitel 6.6)
	In-situ-Gammaskopimetrie	Neutron-Messung	Zerfallsreihe	Probenahme	
Ac-227			Uran-Actinium	x	x
Ac-228	x		Thorium	x	
Ag-108m	x				
Am-241	(x)	x		x	x




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 136

Radio-Nuklid	Geeignete Messverfahren:				Schätzende Verfahren (s. Kapitel 6.6)
	In-situ-Gammaspektrometrie	Neutron-Messung	Zerfallsreihe	Probenahme	
Am-242m		x		x	x
Am-243	(x)	x		x	x
Ba-133	(x)			x	x
Be-10					x
Bi-210			Uran-Radium	x	x
Bi-211	(x)		Uran-Actinium	x	x
Bi-214	x		Uran-Radium	x	
C-14				x	x
Ca-41					x
Cd-113m				x	x
Cf-249		x		x	x
Cl-36					x
Cm-243	(x)	x		x	x
Cm-244		x		x	x
Cm-245	(x)	x		x	x
Cm-246		x		x	x
Cm-247	x	x		x	x
Cm-248		x		x	x
Co-60	x				
Cs-134	x				
Cs-135					x
Cs-137	x				
Eu-152	x				
Eu-154	x				
Eu-155	(x)				x
Fe-55					x
H-3				x	x
Ho-166m	x				x
I-129				x	x
Kr-85					x
Mo-93				x	x
Na-22	x				
Nb-94	x				
Ni-59				x	x
Ni-63				x	x
Np-237		x		x	x
Pa-231	(x)		Uran-Actinium	x	x
Pa-234m			Uran-Radium	x	x
Pb-210			Uran-Radium	x	x
Pb-211	(x)		Uran-Actinium	x	x
Pb-214	(x)		Uran-Radium	x	x
Pd-107					x
Pm-147					x
Po-208			Radon	x	x
Po-210			Uran-Radium	x	x
Po-214			Uran-Radium	x	x
Po-215			Uran-Actinium	x	x
Po-218			Uran-Radium	x	x
Pu-238		x		x	x
Pu-239		x	Uran-Actinium	x	x
Pu-240		x	Thorium	x	x
Pu-241		x		x	x
Pu-242		x		x	x
Pu-244		x		x	x

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN		 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -										Blatt: 137

Radio-Nuklid	Geeignete Messverfahren:				Schätzende Verfahren (s. Kapitel 6.6)
	In-situ-Gammaspektrometrie	Neutron-Messung	Zerfallsreihe	Probenahme	
Ra-223			Uran-Actinium	x	x
Ra-226	(x)		Uran-Radium	x	
Ra-228			Thorium	x	x
Rb-87					x
Rn-219	(x)		Uran-Actinium	x	x
Rn-222			Uran-Radium	x	x
Sb-125	x				x
Se-79				x	x
Sm-151				x	x
Sn-126				x	x
Sr-90				x	x
Tc-99				x	x
Th-227	(x)		Uran-Actinium	x	x
Th-228			Thorium	x	x
Th-229				x	x
Th-230			Uran-Radium	x	x
Th-231	(x)		Uran-Actinium	x	x
Th-232			Thorium	x	x
Th-234			Uran-Radium	x	x
Tl-204					x
Tl-207		x	Uran-Actinium		x
U-232				x	x
U-233				x	x
U-234			Uran-Radium	x	x
U-235	(x)	x	Uran-Actinium		
U-236		x	Thorium		x
U-238		x	Uran-Radium		
Y-90			wie Sr-90		
Zr-93				x	x

Hinweise:

x: Das Messverfahren ist jeweils zur Bestimmung für das jeweilige Nuklid geeignet

(x): Nuklide können mittels In-situ-Gammaspektrometrie nur mit Energien ca. < 300 keV und/oder über Linien mit sehr schwacher Emissionswahrscheinlichkeit nachgewiesen werden.

## 7 Auslegung der notwendigen Raumbereiche

In den Kapiteln 6.2 bis 6.5 wurden die Anforderungen an Auslegung und Leistungsfähigkeit der geeigneten Messverfahren zu den jeweiligen Messkategorien A bis D beschrieben. Basierend darauf erfolgt in diesem Kapitel 7 die Festlegung der einzelnen vorzusehenden Raumbereiche für Charakterisierungs- und Konditionierungsverfahren (nachfolgend Raumbereiche) unter Angabe, welches Verfahren in welcher Messstation vorgesehen werden sollte. Diese Darstellung ist insbesondere relevant, da

- verschiedene Verfahren in der gleichen Station kombiniert werden können,
- das gleiche Verfahren in mehreren Stationen eingesetzt werden kann,
- es unterschiedliche Spezialisierungen des gleichen Verfahrens in mehreren Stationen geben kann.

In Abb. 9 bis Abb. 11 wird die mögliche räumliche Anordnung der notwendigen Raumbereiche im Bereich der Charakterisierung, aber auch unter Berücksichtigung der Konditionierung und Pufferlagerung dargestellt.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 138



Diese Raumbereiche bzw. Messstationen werden in der Tab. 51 in Kapitel 7.10 zusammengefasst und hinsichtlich des Durchsatzes und Platzbedarfes (in einfacher Ausführung) bewertet. Für die Charakterisierungsanlage wurden drei verschiedene Geschossebenen vorgesehen, die neben dem begrenzt verfügbaren Platz auch die Abgrenzung von Mess- bzw. Anlagenbereichen mit unterschiedlichen Anforderungen an Bauweise und Strahlenschutzmaßnahmen berücksichtigen.

Diese Planung bildet die Grundlage für die weitere Auslegung der Abfallbehandlungsanlage im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung, in welcher je nach Erfordernis und Platzbedarf auch mehrere Messstationen parallel vorgesehen werden können.

Zudem erfordern die unterschiedlichen strukturellen und stofflichen Eigenschaften der rückzuholenden radioaktiven Abfälle ggf. eine Vorbehandlung, sofern eine Messung im Innenbehälter nicht möglich ist. Die für Salzgrus und verlorene Betonabschirmungen (VBA) besonderen Anforderungen an die Auslegung der Messtechnik werden in den nachfolgenden Kapiteln daher ebenfalls berücksichtigt.

### 7.1 Räumliche Anordnung der Messbereiche (bauliche Hülle)

In Verbindung mit dem in Tab. 51 dargestellten Mindestflächenbedarf für die jeweiligen Messstationen lassen sich die Bereiche der Charakterisierung und der hierfür erforderlichen Vorbehandlung innerhalb der baulichen Hülle räumlich anordnen.

Für die räumliche Anordnung der Charakterisierungsbereiche in Abb. 9 bis Abb. 11 wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Die Transportwege innerhalb der Abfallbehandlungsanlage sowie zwischen der Abfallbehandlungsanlage und der Pufferlagerung sind derart zu wählen, dass eine Einhaltung der Reihenfolge der Prozessschritte (von zerstörungsfreien Standardmessverfahren über Spezialmessstationen) logistisch möglich ist. Hierdurch werden im Sinne einer zügigen Rückholung und in Anbetracht eines begrenzten Platzangebots die logistischen Abläufe auf ein notwendiges Mindestmaß reduziert.
- Die Anzahl der Messstraßen für zerstörungsfreie Messungen wurde zunächst auf drei parallele Messstraßen festgelegt (Annahme im Rahmen dieser Konzeptplanung: 3 IB pro UV). Die verfügbare Fläche lässt jedoch eine Vervielfältigung in Abstimmung mit den Planungen zur Konditionierungsanlage und der Dimension des Puffer- bzw. Zwischenlagers zu.
- Die Raumhöhen der drei Geschossebenen ergeben sich in erster Linie aus den einsetzbaren Hantierwerkzeugen, wie z. B. Kräne. Eine Anpassung kann daher im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung erfolgen, sobald das Behälterkonzept abgestimmt und die Hantierwerkzeuge festgelegt sind.
- Innerhalb der Charakterisierungsbereiche sind zudem Pufferlagerflächen zur kurzfristigen Lagerung der IB zwischen den einzelnen Mess- und Behandlungsstationen vorzusehen (als „Wartepositionen“).

Die räumliche Ausdehnung der Raumbereiche ist abhängig vom erforderlichen Durchsatz (s. Kapitel 7.10) und in Abstimmung mit den übrigen Anlagenteilen im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die gesamte Anlage festzulegen.

#### 7.1.1 Untergeschoss

Im Untergeschoss (s. Abb. 10) wird neben den Bereichen für Transport- und Handhabung von Behältern (s. Kapitel 7.2) der Bereich für die Behandlung und radiologische Charakterisierung von Salzgrus mit anschließender Sortierung vorgesehen (s. Kapitel 7.6). In einer der Messung vorgeschalteten Vorbehandlung wird der Salzgrus homogenisiert und - falls erforderlich - getrocknet. In diesem Bereich können ebenfalls Behälter mit Salzgrus puffergelagert werden (R023).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 139



### 7.1.2 Erdgeschoss

Im Erdgeschossbereich (s. Abb. 9) befinden sich alle relevanten Bereiche für Charakterisierung und Konditionierung sowie die Räume für Personalzugang in das Gebäude sowie Personenschleusen für den Zugang zu dem Kontrollbereich.

Dies sind für die Charakterisierungsanlage gem. der Auswahl in Kapitel 6 und Kapitel 7.1 bis 7.9:

- Bereiche für Transport- und Handhabung von Behältern R120, R121, R124 – R133 (s. Kapitel 7.2)
- Standardmessstationen für Feststoffe R140 - R145 (s. Kapitel 7.3)
- Hantierungszellen R122 und R123 (s. Kapitel 7.4)
- Spezialmessstationen für weitere Charakterisierungsschritte R146(s. Kapitel 7.5)
- Probenahme (diese ist insbesondere im Rahmen der Vorbehandlung durchzuführen, sonst in Abhängigkeit der radiologischen Situation fernhantiert in Zellen) (u. a. R122 und R123)
- Sonstige Bereiche zum Personalzugang R101, R102, R110, R111 (s. Kapitel 7.9)

Der Raumbereich zur Verarbeitung von Flüssigabfällen (s. Kapitel 7.7) ist der Konditionierung zuzuordnen und ebenfalls im Erdgeschoss vorgesehen.

Angrenzend an die Charakterisierung befinden sich Puffer- und Zwischenlager mit einer direkten Anbindung an die Anlieferung und Konditionierung.

### 7.1.3 Obergeschoss

Im 1. Obergeschoss (s. Abb. 11) befinden sich die Räume für die technische Gebäudeausrüstung, Sozialräume, Bürobereich (s. Kapitel 7.9) und Laborbereiche (s. Kapitel 7.8). Proben für die Laboruntersuchung können direkt aus dem Steuerraum (R111 oder R110) im Erdgeschoss in den Laborbereich transportiert werden. Der Zugang zum Obergeschoss erfolgt im Erdgeschoss über die Zugangstreppe im Bereich des Personalzugangs zum Gebäude.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd.Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000			MAK	RB	0002	00	

**BCE** BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

**Blatt: 140**

**Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der SchachtanlageASSE II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -**

Nr.	Raumbereich	Fläche
R101	Treppenhaus	113 m <sup>2</sup>
R102	Treppenhaus	208 m <sup>2</sup>
R110	Steuerbereich für Heiße Zelle / Schwere Manipulationseinrichtungen und Handlungszelle für schwachaktive Abfälle	81 m <sup>2</sup>
R111	Steuerraum	31 m <sup>2</sup>
R120	Ausschleusung freigemessener Salzgrus aus Untergeschoss	105 m <sup>2</sup>
R121	Einschleusung Salzgrus in Untergeschoss	32 m <sup>2</sup>
R122	Handlungszelle für schwachaktive Abfälle	123 m <sup>2</sup>
R123	Heiße Zelle / Schwere Manipulationseinrichtungen	138 m <sup>2</sup>
R124	Pufferlager freigemessenes Material	57 m <sup>2</sup>
R125	Transportkorridor 1 Innenbehälter	330 m <sup>2</sup>
R126	Korridor Fasstransport	20 m <sup>2</sup>
R127	Transportkorridor 2 Innenbehälter	37 m <sup>2</sup>
R128	Übergabe freigemessenes Material	30 m <sup>2</sup>
R129	Übergabe Innenbehälter	32 m <sup>2</sup>
R130	Einschleusung Innenbehälter (Doppeldeckelschleuse)	26 m <sup>2</sup>
R131	Übergabe Innenbehälter	22 m <sup>2</sup>
R132	Anlieferung Umverpackung	625 m <sup>2</sup>
R133	Pufferlager Innenbehälter	257 m <sup>2</sup>
R140	Tomographische Messung 1	33 m <sup>2</sup>
R141	Tomographische Messung 2	33 m <sup>2</sup>
R142	Tomographische Messung 3	33 m <sup>2</sup>
R143	Radiologische Messung 1	32 m <sup>2</sup>
R144	Radiologische Messung 2	32 m <sup>2</sup>
R145	Radiologische Messung 3	32 m <sup>2</sup>
R146	Bereich für Spezialmessstationen	380 m <sup>2</sup>

Nr.	Equipment	Raumbereich
01	Doppeldeckelschleuse	R130
02	Brückengreifer an Einschienenkran	R131
03	Transportwagen für Fässer	R123/126/146
04	Transportwagen für Innenbehälter	R125

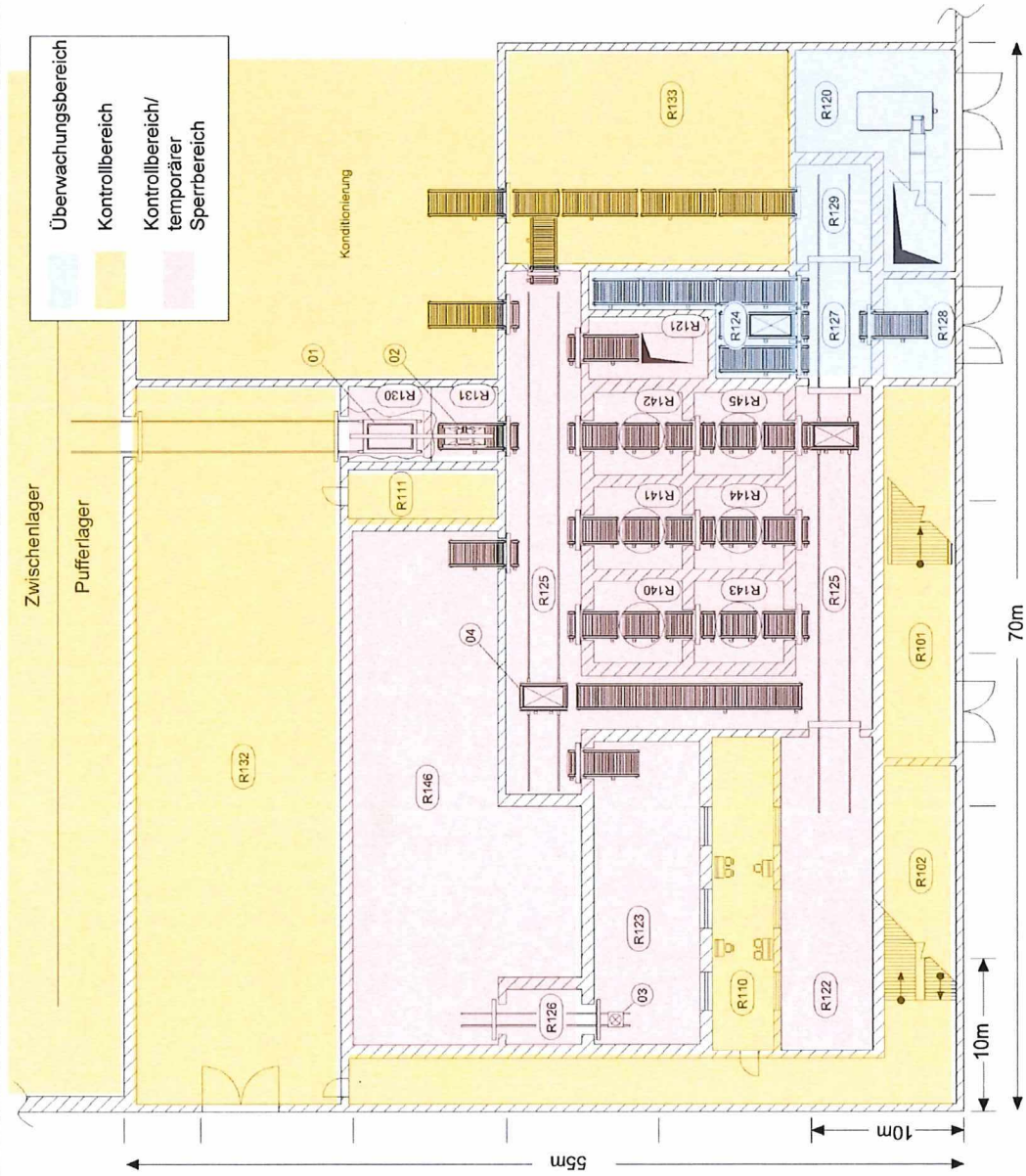


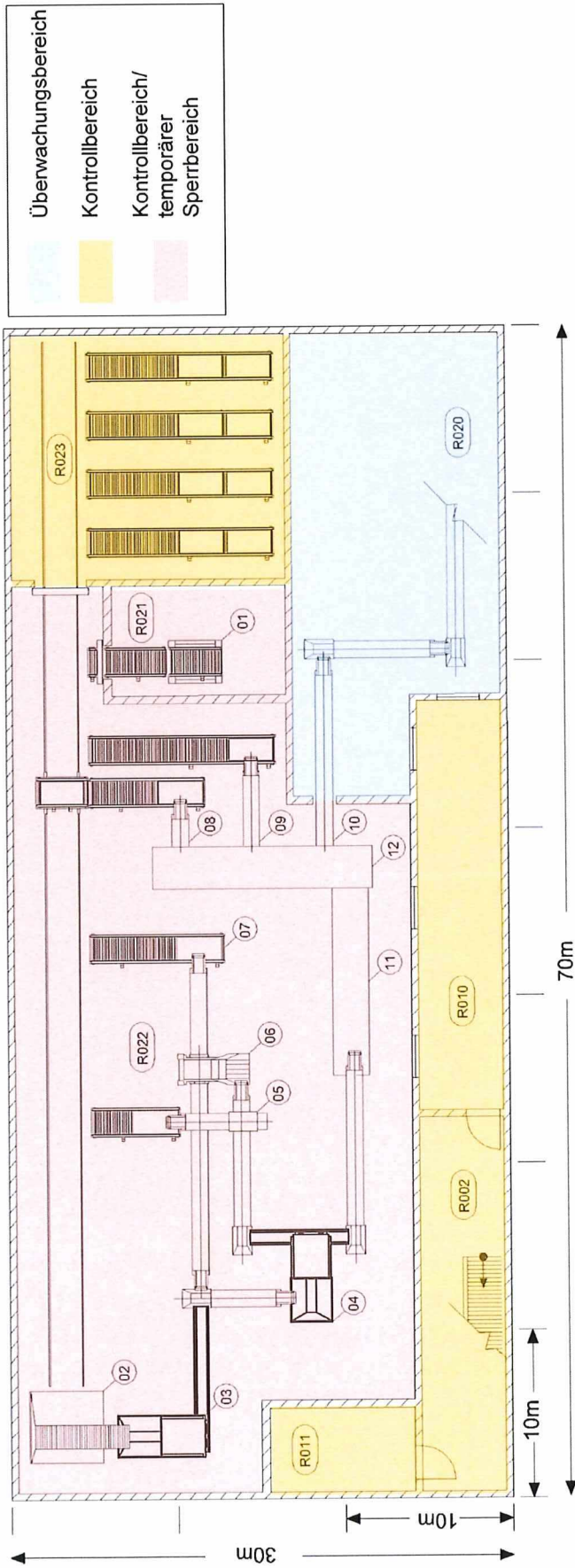
Abb. 9: Raumbereiche der Charakterisierungsanlage auf Erdgeschoss-Ebene (Raumhöhe ca. 6 m).

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd. Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00

**BGE**  
BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 141



Nr.	Raumbereich	Fläche	Nr.	Equipment	Raumbereich
R002	Treppenhaus Kontrollbereich	113 m <sup>2</sup>	01	Aufzug Innenbehälter	R021
R010	Steuerraum	123 m <sup>2</sup>	02	Aufgabetrichter	R022
R011	Schaltraum	43 m <sup>2</sup>	03	Trockner	R022
R020	Ausschleusung freigemessener Salzgrus	314 m <sup>2</sup>	04	Trommelsieb	R022
R021	Einschleusung Salzgrus	70 m <sup>2</sup>	05	Magnetabscheider	R022
R022	Prozessraum Salzgrus Förderbandmessanlage	1.082 m <sup>2</sup>	06	Brecher	R022
R023	Pufferlager Salzgrus	244 m <sup>2</sup>	07	Innenbehälter für übergroße Materialien	R022
			08	Förderband mittelradioaktive Abfälle	R022
			09	Förderband schwachradioaktive Abfälle	R022
			10	Förderband freigemessener Salzgrus	R022
			11	Förderband Messung	R022
			12	Förderband Sortierung	R022

Abb. 10: Raumbereiche der Charakterisierungsanlage auf Untergeschoss-Ebene (Raumhöhe ca. 5 m).



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd. Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00

**BCE** BUNDEGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG

Blatt: 142

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der SchachtanlageASSE II rückzuziehenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

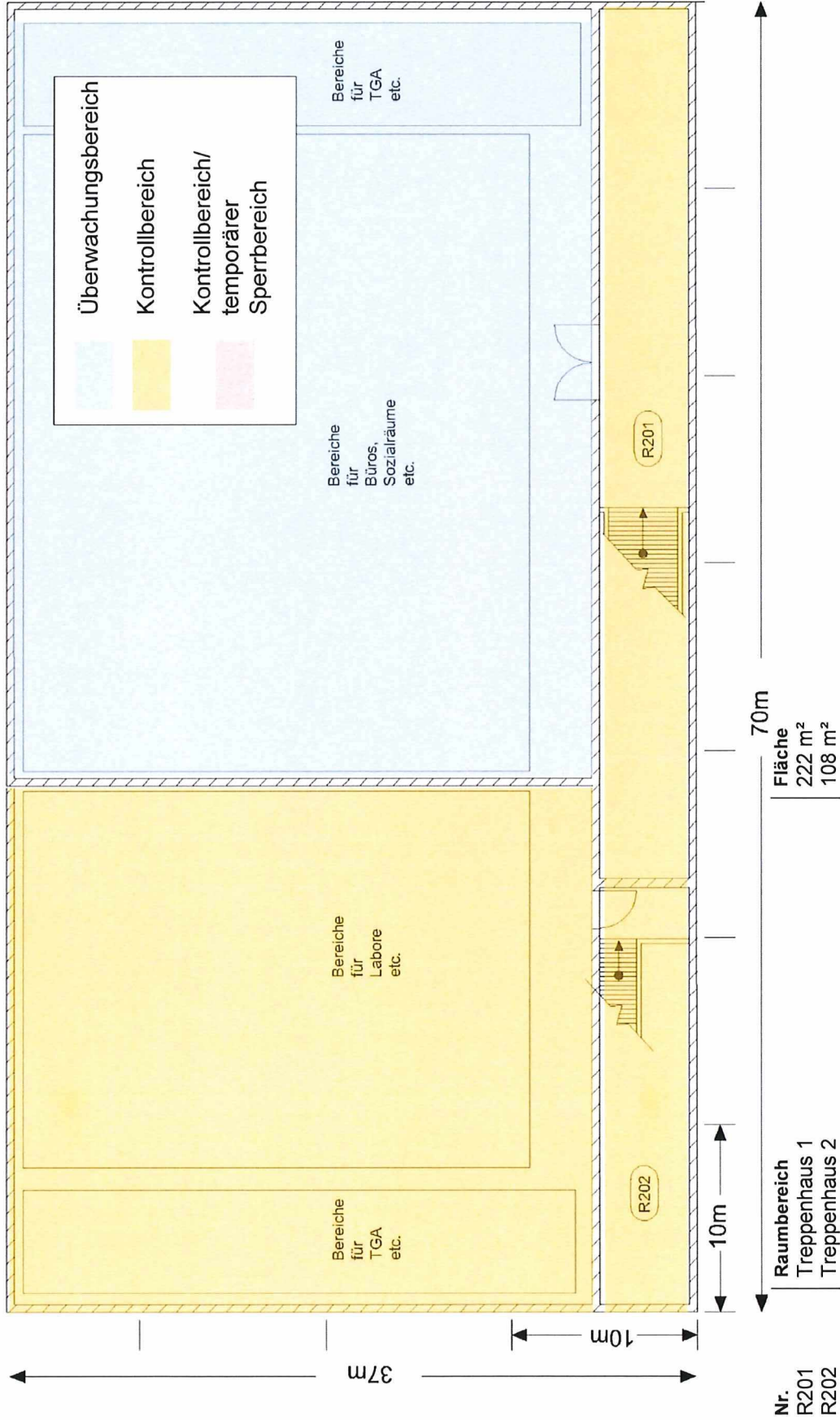



Abb. 11: Raumbereiche der Charakterisierungsanlage auf Obergeschoss-Ebene (Raumhöhe ca. 3,5 m).

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 143**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

## 7.2 Bereiche für Transport- und Handhabung von Behältern

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Bereiche/Prozesse beziehen sich auf das Raumkonzept gemäß Kapitel 7.1.

### 7.2.1 Öffnen der Umverpackung

In dem Bereich R132 zur Anlieferung der Umverpackung (s. Abb. 9) wird die eingehende Umverpackung durch einen Brückenkran mit Containergreifer von dem Transportfahrzeug gehoben (Höhenabwicklung siehe Abb. 12) und auf ein Transportmittel, bevorzugt ein schienengebundenes Transportfahrzeug aufgesetzt (s. Abb. 13). Während des Umsetzens findet eine radiologische Untersuchung (ODL und/oder Wischtest) der Container Unterseite, nach dem Absetzen der Container Oberseite und Außenseiten auf Kontamination statt. Nach der Freigabe des Containers werden die Deckelschrauben mit Hilfe geeigneter Werkzeuge, z. B. Drehmoment- oder Winkelschrauber gelöst, herausgedreht, entnommen und aufbewahrt. Diese Arbeiten können, in Abhängigkeit der gemessenen ODL sowohl manuell als auch fernhantiert ausgeführt werden.

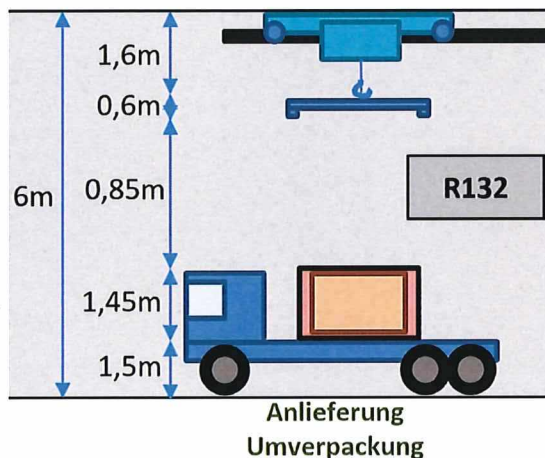


Abb. 12: Höhenabwicklung bei der Anlieferung der Umverpackung (nicht maßstabsgetreu).

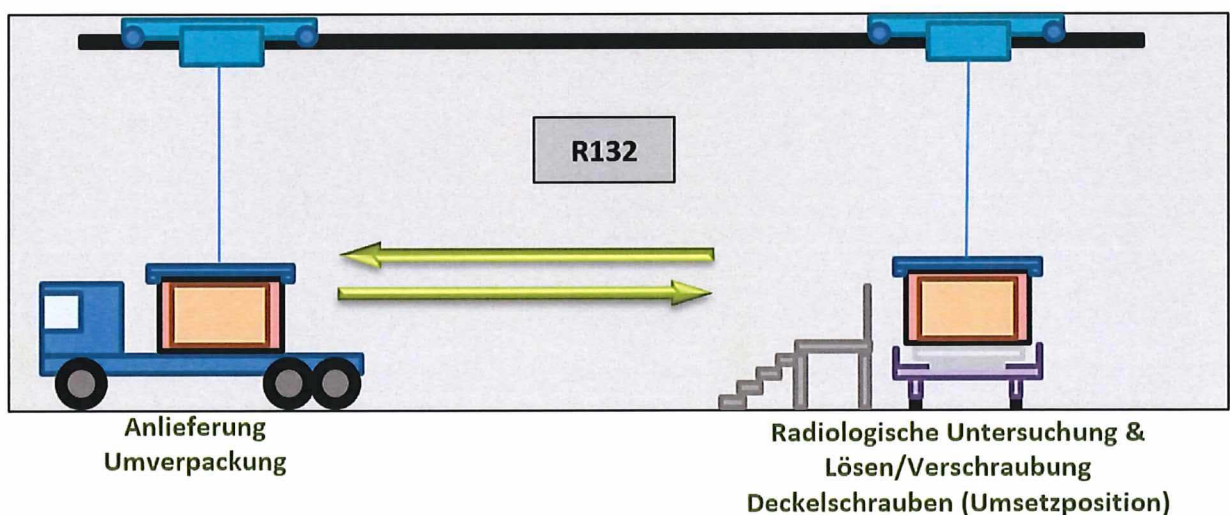


Abb. 13: Anlieferung der Umverpackungen in R132.

Anschließend wird die Umverpackung mit Hilfe des schienengebundenen Transportfahrzeugs in die Einschleusung für die Innenbehälter (Doppeldeckelschleuse) R130 (s. Abb. 9) gefahren. Ein Tor trennt den Bereich zur Anlieferung der Umverpackung R132 von der Einschleusung der Innenbehälter (Doppeldeckelschleuse) R130, so dass eine lufttechnische Trennung sowie eine



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

**BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 144
--	------------

Druckstaffelung vorhanden sind (s. auch Kapitel 3.3.3.5.3). Durch die Deckelaufnahme der Doppeldeckelschleuse wird der Deckel der Umverpackung gegriffen und geöffnet (s. Abb. 14 links). Die Konstruktion der Doppeldeckelschleuse und eine Dichtung, gegen die die Umverpackung gedrückt wird und die Umverpackung an der Oberseite abdichtet, verhindern eine Kontamination der Außenseiten der Umverpackung und des Deckels während der Entnahme des Innenbehälters. Eine geschlossene Doppeldeckelschleuse bildet die notwendige lufttechnische Trennung zwischen den Bereichen zur Einschleusung der Innenbehälter (Doppeldeckelschleuse) R130 und der Übergabe der Innenbehälter R131 (s. auch Abb. 14 rechts und Abb. 16).

### 7.2.2 Verschließen der Umverpackung

Nach Entnahme oder Einsetzen des Innenbehälters wird durch Schließen der Doppeldeckelschleuse der Deckel auf die Umverpackung aufgelegt. Nach Lösen der Deckelaufnahme verschließt der Deckel der Doppeldeckelschleuse die Öffnung zwischen den Bereichen zur Einschleusung der Innenbehälter (Doppeldeckelschleuse) R130 und zur Übergabe der Innenbehälter R131. Ein Beispiel für eine Doppeldeckelschleuse ist in Abb. 14 dargestellt. Nach Absenken der Umverpackung kann das Tor zum Bereich der Anlieferung für Umverpackungen R132 geöffnet und die Umverpackung auf die Umsetzposition gefahren werden. Hier wird der Containerdeckel unter Verwendung der vorhandenen Werkzeuge wieder verschraubt. Nach einem Oberflächenwischtest im Bereich des Containerdeckels kann der Container seiner weiteren Bestimmung zugeführt werden, z. B. Einlagerung im Pufferlager durch Weiterfahrt des Transportmittels (s. Abb. 15). oder, im Falle von Containern mit freigemessenem Salzgrus, durch den Brückenkran mit Greifer kann der Container auf Transportfahrzeuge geladen werden.

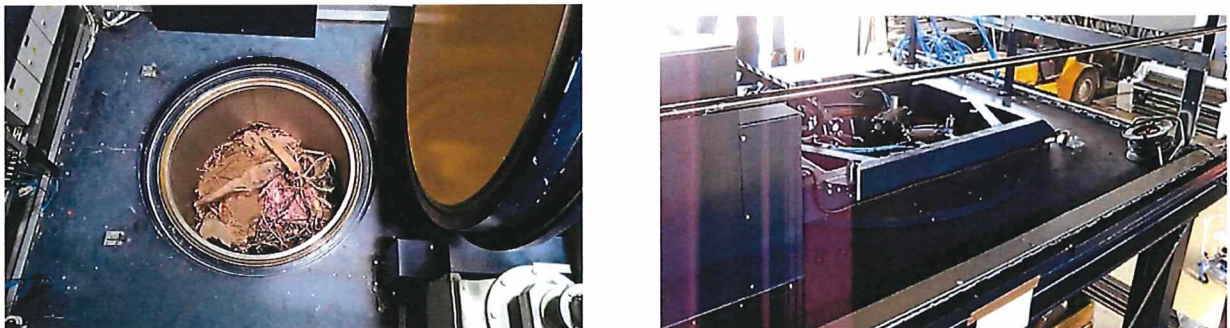


Abb. 14: Beispielhafte Darstellungen: Links: Blick in eine geöffnete Doppeldeckelschleuse in einen gefüllten Abfallcontainer; Containerdeckel (gelb) wird von Deckel der Doppeldeckelschleuse gehalten. Rechts: geschlossene Doppeldeckelschleuse.

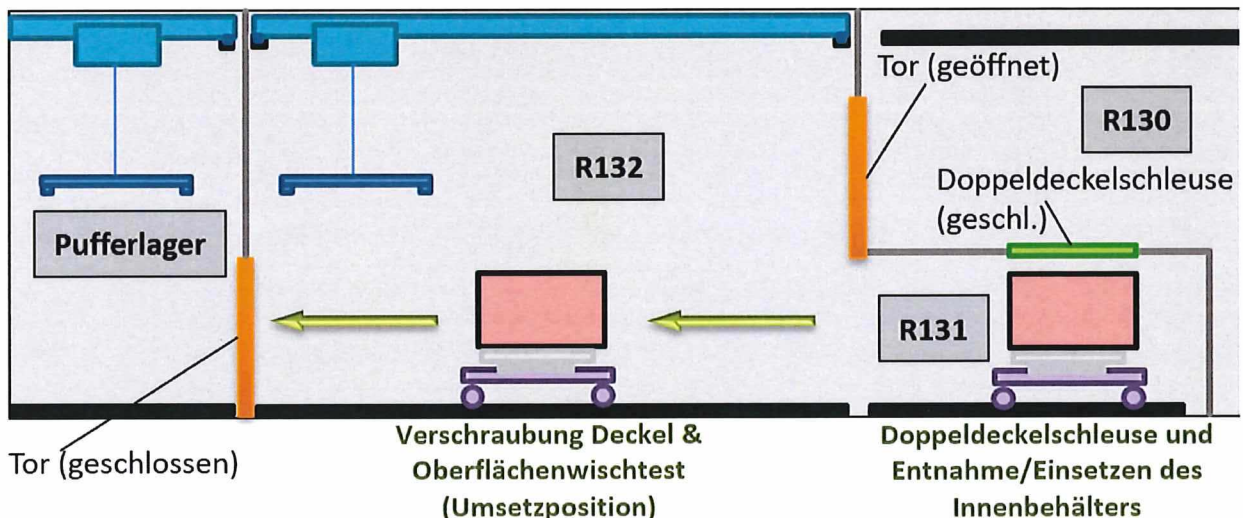



Abb. 15: Verschließen der Umverpackung sowie Weiterfahrt in das Pufferlager.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 145**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

### 7.2.3 Entnahme von Innenbehältern aus der Umverpackung

Zur Entnahme des Innenbehälters wird ein speziell auf die geometrischen Daten des Innenbehälters ausgelegter Brückengreifer eingesetzt, welcher z. B. durch einen Einschienenkranverfahren werden kann. Nach dem der Brückengreifer positioniert wurde, greift dieser den Innenbehälter an den jeweiligen Anschlagpunkten und hebt ihn aus dem Transportcontainer und dem Bereich der Einschleusung für Innenbehälter (Doppeldeckelschleuse) R130 heraus, transportiert ihn zur Übergabeposition und setzt ihn auf dem Transportmittel ab (s. Abb. 16). Der Brückengreifer greift und löst den Innenbehälter fernhandelt. Die Konstruktion des Brückengreifers sowie des Einschienenkrans verhindern eine Verdrehung, sowie ein Aufschaukeln des Innenbehälters während des Transports.

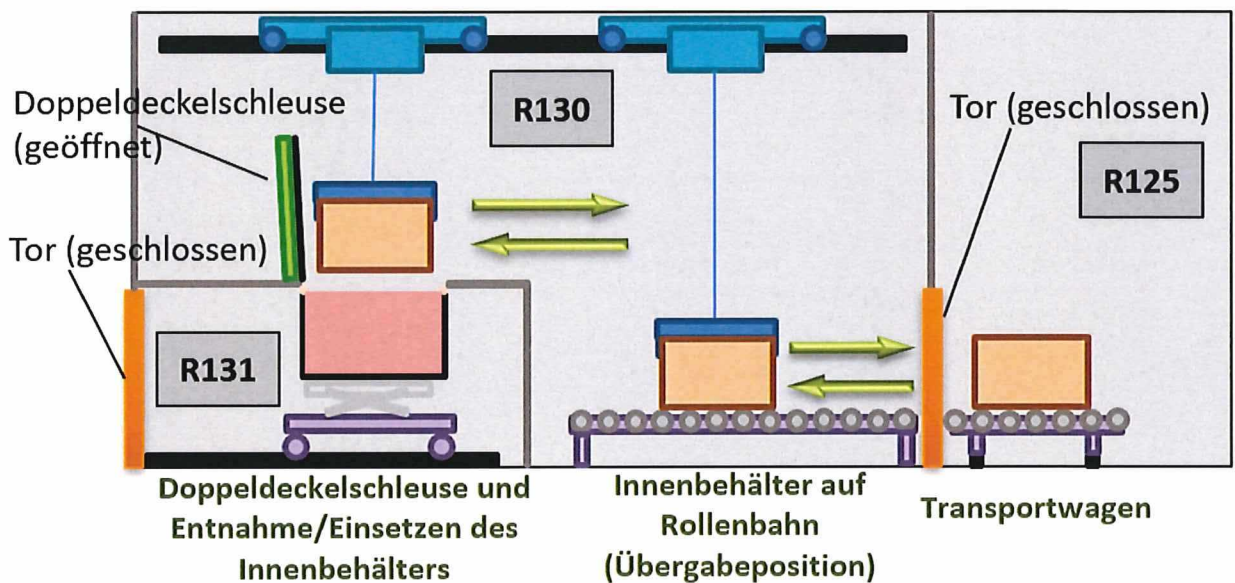


Abb. 16: Entnahme des Innenbehälters aus der Umverpackung.

### 7.2.4 Transport des Innenbehälters in der Anlage


Durch die Transportmittel, vorzugsweise Transportwagen und Rollenbahnen, werden die Innenbehälter zu den jeweiligen Stationen, z. B. Messung, Probeentnahme gefahren. Die geeignete Kombination von Transportwagen und Rollenbahnen ist im Rahmen der Auslegung der gesamten Abfallbehandlungsanlage zu planen. Um eine Verschleppung von Kontamination zu vermeiden, besitzen die Transportmittel innerhalb der Charakterisierung eine Transportplattform auf welcher der Innenbehälter abgestellt und transportiert wird. Die Transportplattform fängt von der Außenseite des Innenbehälters herabfallende Verunreinigungen auf, so dass sie mit üblichen Reinigungsmethoden, z. B. durch Saugen oder Wischen, entfernt werden können.

### 7.2.5 Entdeckung des Innenbehälters in der Anlage

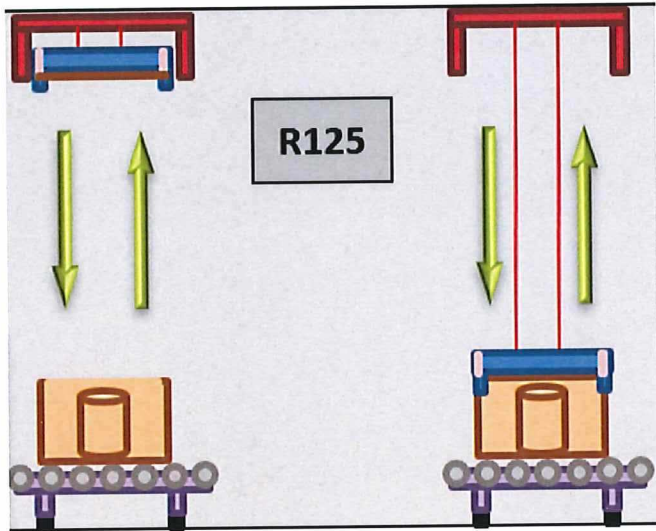
Der zu entdeckende Innenbehälter wird durch das Transportmittel zu einer Ent- bzw. Verdeckelungsstation im Transportkorridor R125 transportiert. Hier werden, falls vorhanden, die Verschraubungen des Deckels fernhandelt gelöst und der Deckel durch einen vertikal verfahrbaren Greifer angehoben. Der Vorgang des Entdeckelns wird automatisch ausgeführt. Der Deckel verbleibt solange im Deckelgreifer bis er wieder auf einen Innenbehälter aufgelegt werden kann (s. Abb. 17). Da sich mehrere Innenbehälter gleichzeitig in der Charakterisierung befinden können, ist diese Einrichtung mehrfach in den Bereichen vor den Hantierungszellen R122 und R123, im Prozessraum Salzgrus Förderbandmessanlage R022 oder im Bereich vor den Messstationen für weitere Charakterisierungsschritte R146 vorzusehen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 146**



**Ent-/Verdeckelungsstation**

Abb. 17: Ent- bzw. Verdeckelungsstation(en) in R125.

### 7.2.6 Einsetzen von Innenbehältern in Umverpackungen innerhalb der Anlage

Kann ein verdeckelter Innenbehälter aus der Charakterisierungsanlage ausgeschleust werden, wird er mit Hilfe der vorhandenen Transportmittel auf eine definierte Übergabeposition transportiert. Hier wird der Innenbehälter mit Hilfe des Einschienenkrans mit Brückengreifer angehoben, über die Umverpackung gefahren und dort eingesetzt (s. auch Abb. 16).

### 7.2.7 Entnahme von rückgeholten Abfällen aus dem Innenbehälter

Müssen die rückgeholten Abfälle aus einem Innenbehälter entnommen werden, so wird der IB durch das Transportmittel in einen zur Entnahme von Einzelgebinden und Abfallfragmenten vorgesehenen Bereich der Hantierungszellen R122 und R123 transportiert. Hier wird der rückgeholte Abfall mit Hilfe eines geeigneten Krans/Manipulators, z. B. einem Schwerlastmanipulator, entnommen und auf die jeweilige Position zur weiteren Behandlung (Öffnung, Probenahme etc.) überführt (s. Abb. 18).

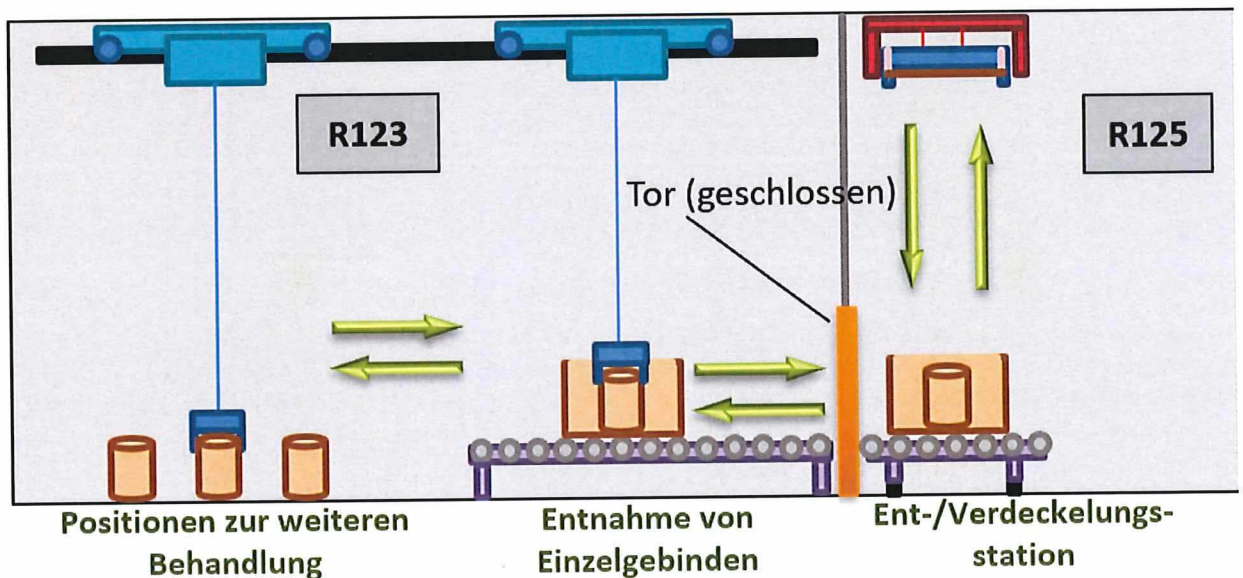


Abb. 18: Entnahme von rückgeholten Abfällen aus dem IB in der Heißen Zelle R123.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 147

### 7.2.8 Transport von rückgeholten Abfällen in der Anlage

Der Transport von intakten rückgeholten Abfallbehältern (Fässern oder VBA) innerhalb der Charakterisierungsanlage ist grundsätzlich mit einem geeigneten Transportmittel möglich. In Abhängigkeit von der Länge der Transportwege und der Anzahl der Mess- und Inspektionsstationen kann ein Rollenförderer oder schienengebundenes Transportfahrzeug oder eine Kombination dieser Transportmittel zum Einsatz kommen. Beim Transport einzelner rückgeholter Gebinde ist ebenfalls eine Transportplattform vorzusehen, da für diese Transportaufgaben mit einer erhöhten Verschleppung von Kontamination innerhalb der Charakterisierung zu rechnen ist. Aufgrund der mit diesem Transport verbundenen Strahlenschutzmaßnahmen und Sicherheitsnachweisen ist dieser jedoch auf abgeschirmte Bereiche (Hantierungszellen) zu beschränken und hinsichtlich der Länge der Transportwege einzugrenzen.



Abb. 19: Beispiele für Transportmittel innerhalb der Abfallbehandlungsanlage. Oben links: Transferwagen mit Rollenbahnsegment für Container. Oben rechts: Rollenbahnsegment für Container, Übergabe zu Transferwagen. Unten links: Transferwagen mit Rollenbahnsegment für Fasstransport. Unten rechts: Rollenbahnsegment für Fasstransport, Übergabe zu Transferwagen.

### 7.3 Standardmessstationen für Feststoffe

Standardmessstationen sind derart auszulegen, dass hiermit der größte Anteil der rückgeholten Abfälle in den IB zerstörungsfrei gemessen werden kann. Durch Installation mehrerer Messstraßen zu gleichen Messverfahren kann ein hoher Durchsatz in der Charakterisierungsanlage generiert werden (s. auch Abb. 20 und Abb. 21). Im Hinblick auf die Abfallbehandlungsanlage ist dies gegenüber der begrenzt verfügbaren Fläche abzuwägen. Es ist vorgesehen, jeden IB nach der Einschleusung in einem ersten Prozessschritt diesen Messverfahren zu unterziehen, um hierdurch Kenntnisse über die innere Struktur, die Verteilung der ODL und der Aktivität sowie zum Gehalt an spaltbaren Stoffen zu erhalten.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

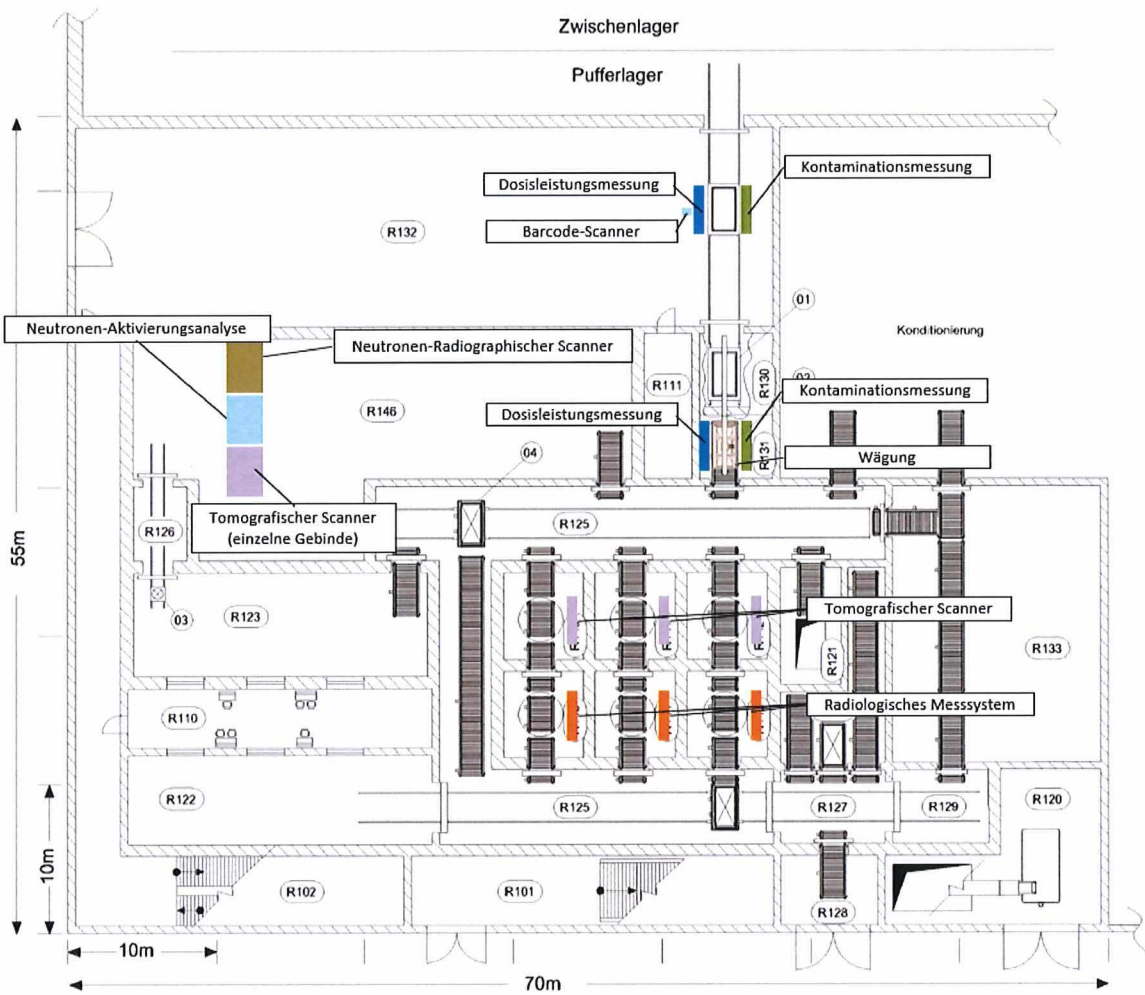



Abb. 20: Schematische Darstellung der Messtationen im Erdgeschoss.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 149**

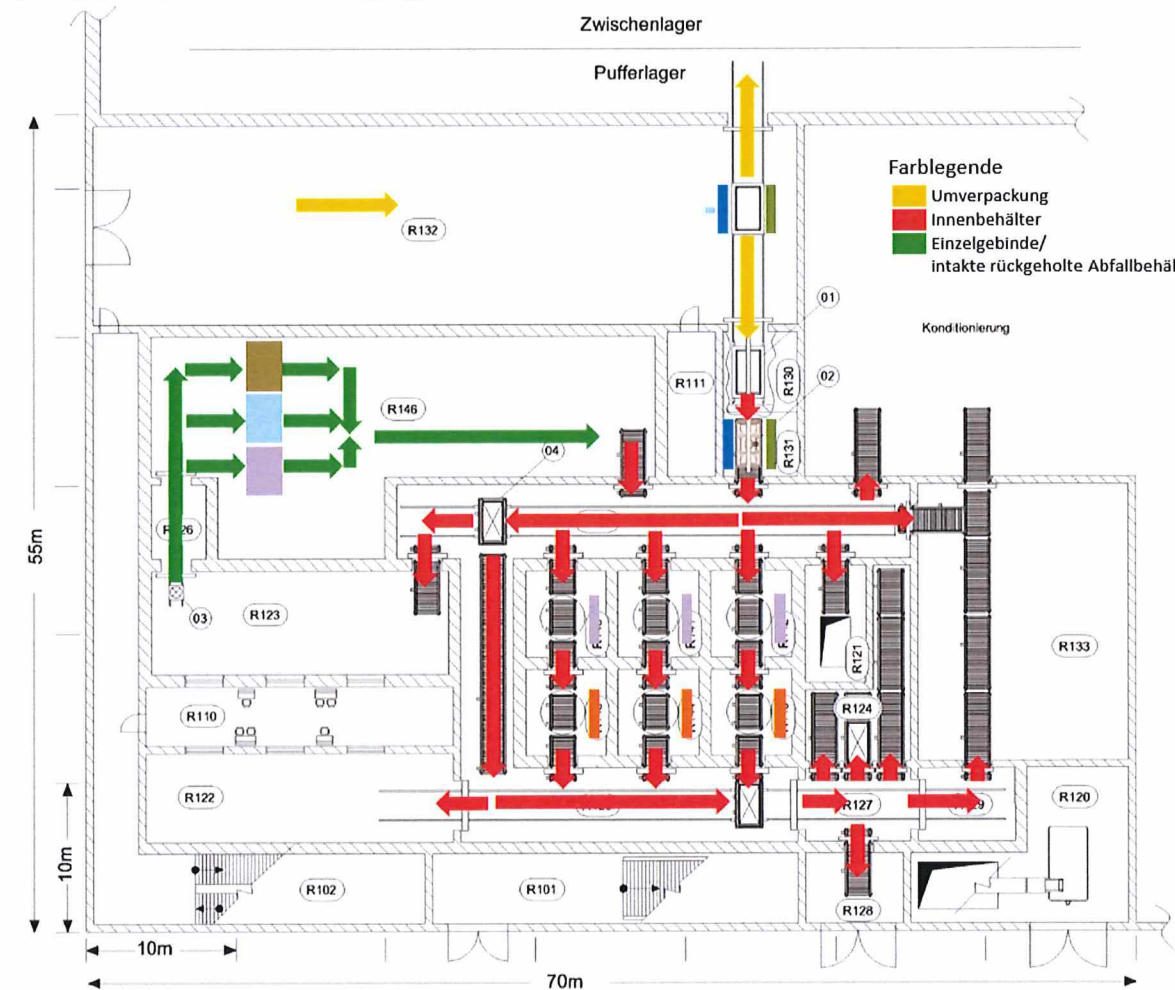


Abb. 21: Schematische Darstellung der Gebinde-Haupttransportwege im Erdgeschoss.

Als Standardmessstationen sollten somit die im Folgenden genannten vorgesehen werden:

### 7.3.1 Einschleusung

Aus den angelieferten UV werden unter entsprechenden Sicherheits- und Prüfmaßnahmen die IB entnommen und über das Transportsystem, welches sich nach dem noch festzulegenden Behälterkonzept richtet, in die Abfallbehandlungsanlage oder zunächst in das Pufferlager R133 eingeschleust.

Neben dem mechanischen Handlungsequipment (siehe Kapitel 7.2) kommen hier Dosisleistungs- und Kontaminationsmessverfahren, sowie ggf. eine Wägestation zum Einsatz. Die hier durchgeführten örtlich aufgelösten Dosisleistungsmessungen liefern bereits Information über Aktivitätsverteilung und -intensität und können zusammen mit den Informationen aus der Bergung im Rahmen der Planung der weiteren Strahlenschutzmaßnahmen und Prozessschritte der Charakterisierung genutzt werden.


Für Innenbehälter, welche ausschließlich Salzgrus enthalten, kann im Sinne der logistischen Optimierung eine separate Einschleusung in den Messbereich für Haufwerk/Salzgrus vorgesehen werden (s. Kapitel 7.6).

### 7.3.2 Tomographischer Scanner für IB bis 1 t

Die strukturelle Untersuchung aller IB wird durch mindestens zwei bildgebende Messungen mit digitaler Gamma-Radiographie durchgeführt. Damit steht zu jedem IB eine grundlegende



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 150
--	------------

Information über die strukturelle Zusammensetzung des Inhalts sowie möglicher abschirmender Materialien zur Verfügung. Die in Kapitel 4.5.5 aufgeführte Massenbegrenzung von 1 t pro IB ist hierbei zu beachten, um noch hinreichend genaue Ergebnisse anhand zerstörungsfreier (durchstrahlender) Messverfahren erzielen zu können.

Sofern zur strukturellen Zusammensetzung bereits gesicherte Angaben aus der Bergung vorliegen (z. B. wenn es sich um einzelne größere Komponenten und Strukturteile handelt), kann diese Messstation auch übersprungen werden.

### 7.3.3 Radiologisches Messsystem für IB bis 1 t

Das radiologische Messsystem führt eine kombinierte gammaspektrometrische und Neutronmessung (passiv und aktiv) an den IB durch, welche die jeweiligen Emissionsspektren misst und in Verbindung mit den strukturellen und sonstigen vorliegenden Daten (z. B. aus der Sichtprüfung unter Tage) auswertet. Dieses Messsystem ist aufgrund der vorherrschenden Umgebungsstrahlung abzuschirmen, um Störeinflüsse während der Messungen zu minimieren. Auch hier ist eine Massenbegrenzung von 1 t pro IB vorzusehen.

Als ergänzende Option kann an dieser Messstation zusätzlich das Verfahren der Neutronen-Aktivierungsanalyse (NAA) im Gebindemaßstab implementiert werden (s. Kapitel 6.4.3.1), sofern die weitere technische Entwicklung dieser Systeme eine sinnvolle Anwendung (insbesondere unter einer Aufwand/Nutzen-Betrachtung) in diesem Maßstab zum Zeitpunkt der Detailplanung zulässt.

Im Einzelfall können auch intakte zylindrische Abfallbehälter aus den IB entnommen, in Überfässer eingestellt und unter Ausnutzung der Drehsymmetrie, einer segmentweisen Betrachtung etc. detaillierteren zerstörungsfreien Untersuchungen als bei der Messung in einem IB unterzogen werden.

### 7.3.4 Ausschleusung

Die Ausschleusung dient der Rückführung von IB mit teilcharakterisierten bzw. -konditionierten rückgeholten Abfällen in das Pufferlager R133, bis diese weiteren Prozessschritten zugeführt werden können. Für die Ausschleusung konditionierter Abfälle in das Zwischenlager soll eine separate Schleuse im Bereich der Konditionierungsanlage vorgesehen werden, um diese logistischen Abläufe voneinander zu trennen. Sämtliche auszuschleusende Behälter werden vor der Ausschleusung den notwendigen Sicherheits- und Prüfmaßnahmen unterzogen und anschließend in die UV eingestellt.

Die Daten sowie die Lagerposition sind im Verfolgungs- und Erfassungssystem der Abfallbehandlungsanlage zu erfassen, um jederzeit eine eindeutige Identifikation der jeweiligen IB in den UV zu gewährleisten.

Die Hantieretechnik der Ein- und Ausschleusung ist zu harmonisieren und richtet sich nach dem noch abzustimmenden Behälterkonzept für die IB.

## 7.4 Hantierungszellen

### 7.4.1 Beschreibung der Hantierungszellen

Die Hantierungszellen dienen allen Verfahren, bei welchen ein IB mit rückgeholten radioaktiven Abfallmaterial zur weiteren Hantierung (z. B. Probenahme) geöffnet werden muss. Dies wird in einer speziell abgeschlossenen Zelle durchgeführt, wobei für Arbeiten mit LAW und anderen höher aktiven bzw. speziellen Abfällen eine spezialisierte Heiße Zelle mit stärkerer Abschirmung und ggf. weiterer Spezialausrüstung zu empfehlen ist. Die Daten aus der Bergungsphase können hier dazu dienen, bereits im Voraus potenzielle Sicherheitsrisiken zu identifizieren und sich für die Hantierung darauf einzustellen.

Dementsprechend werden folgende Hantierungszellen vorgesehen:



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 151

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

- Hantierungszelle(n) R122 für schwachaktive Abfälle
- Heiße Zelle R123 für mittelaktive Abfälle und Spezialanforderungen (z. B. für VBA)

Für einen mittleren Durchsatz von 5,3 UV/Tag ist eine Hantierungszelle R122 ausreichend, sofern der Durchsatz sich erhöht, sind mehrere Hantierungszellen vorzusehen. Die Heiße Zelle R123 hingegen kann ggf. aufgrund des geringer erwarteten Anteils von MAW-Abfällen und aus wirtschaftlichen Gründen (da sie aufwändiger konstruiert ist) nur einmal vorgesehen werden.

Wie bereits genannt, haben diese Stationen eine starke Überschneidung mit der Konditionierung bzw. werden ebenfalls dazu genutzt. Sie müssen daher besonders im Zusammenhang mit der Konzeptplanung der KA gemeinsam betrachtet und konzipiert werden, um einen stimmigen Entwurf für die Gesamtanlage zu erhalten.

Optional können, wie in Kapitel 4.5.4 beschrieben, auch manuelle Hantierungsformen vorgesehen werden, sofern die Abfalleigenschaften dies hinreichend zulassen.

#### 7.4.2 Aufgaben der Hantierungszellen

Hauptaufgaben der Hantierungszellen sind die Annahmen der geöffneten IB und die Vorbereitung von Einzelgebinden bzw. anderen Abfallformen zur weiteren Untersuchung bzw. deren Durchführung. Dazu werden die IB mit Hilfe der vorhandenen Transportmittel in die Hantierungszellen eingeschleust und die Einzelgebinde durch Manipulatoren und Greifer aus den IB entnommen und auf den entsprechenden Bearbeitungspositionen bereitgestellt.

An den einzelnen Bearbeitungspositionen befinden sich Gelenkmanipulatoren und geeignete Werkzeuge, wie z. B. elektrische Schrauber. Hiermit werden die Deckelverschraubungen von Flanschring- und Spannringdeckel geöffnet und entfernt. Ebenfalls mit Hilfe der Gelenkmanipulatoren können die Fässer anschließend beprobt werden. Zur weiteren Bearbeitung der Proben befinden sich in jeder Zelle Ausschleuseeinrichtungen, durch die Proben ohne Kontaminationsverschleppung oder Luftaustausch aus den Zellen entnommen werden können (s. Abb. 22 und Abb. 23).



Abb. 22: Beispiel für eine Heiße Zelle mit 2 Strahlenschutzfenstern, 2 Gelenkmanipulatorpaaren, 2 Kraftmanipulatoren mit entsprechendem Werkzeug, 1 Standsauggerät und weiteren Bearbeitungseinrichtungen.

Falls Einzelgebinde von Betonabschirmungen oder massiven Salzgrusanhaftungen befreit werden müssen, steht in den Hantierungszellen geeignetes Werkzeug, z. B. elektrische Meißel zur Verfügung. Aufgrund der bei solchen Arbeiten zu erwartenden starken Staubentwicklung muss in



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
									Blatt: 152

diesem Bereich eine ausreichende dimensionierte Absaugung, sowie Reinigungsgerät, z. B. in Form von Standsauggeräten vorhanden sein.

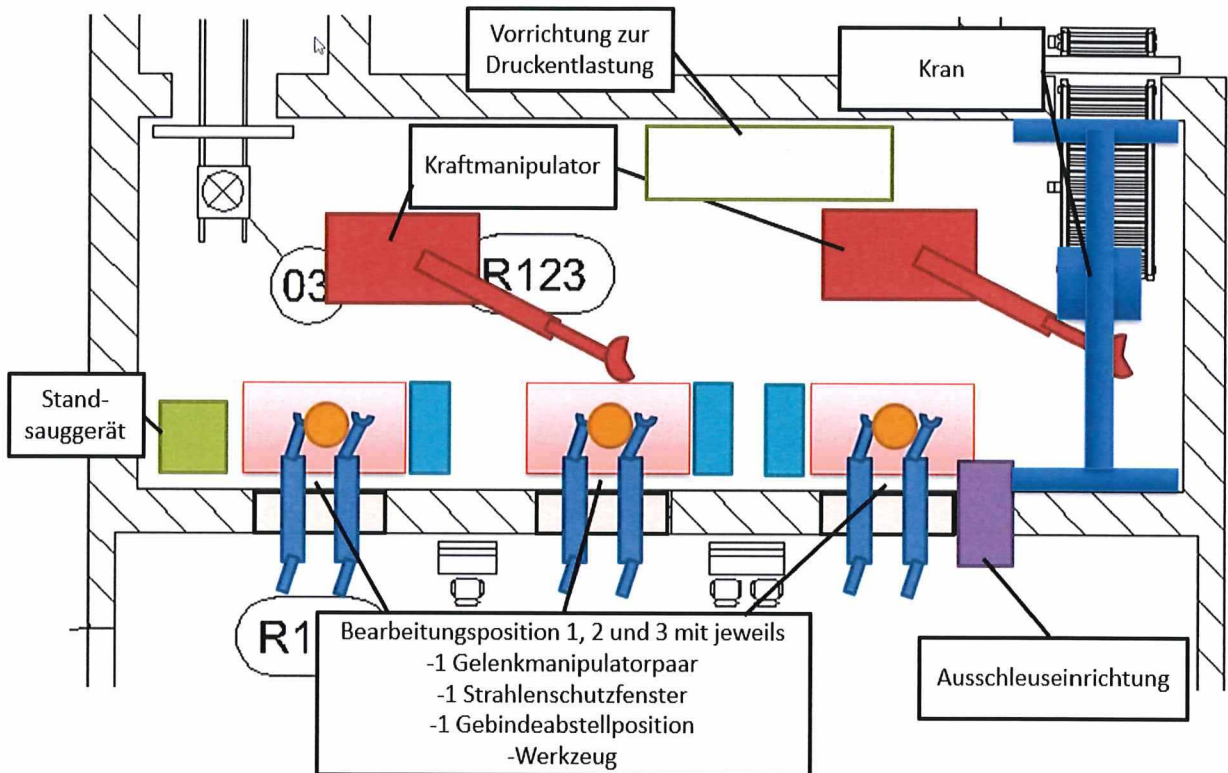


Abb. 23: Beispielhafte Aufstellung der Komponenten in der Heißen Zelle R123.

## 7.4.3 Eingesetztes Spezialequipment

### 7.4.3.1 Gelenkmanipulatoren

In den jeweiligen Hantierungszellen sind Gelenkmanipulatoren vorgesehen. Die Nutzlast eines Gelenkmanipulators liegt im unteren zweistelligen Kilogramm Bereich.

Diese Gelenkmanipulatoren dienen dem Öffnen der Abfallgebände, zum Beispiel bei Fässern mit Spannringdeckel oder zum Assistieren beim Öffnungsvorgang von Fässern mit Flanschdeckel. Weiterhin können mit den Gelenkmanipulatoren Gebinde beprobt werden und Proben innerhalb der Zellen, bis hin zur Ausschleusung, transportiert werden. In Abhängigkeit von der Menge der zu entnehmenden Proben ist eine automatisierte Beprobung sinnvoll.

Bei Bedarf können mit den Gelenkmanipulatoren Beprobungen der Außenseite der Gebinde in Form von Wischtests oder auch Reinigungsarbeiten durchgeführt werden.

### 7.4.3.2 Kraftmanipulatoren

Kraftmanipulatoren in den jeweiligen Hantierungszellen dienen zur Hantierung der Abfallgebände, sowie der Abfälle selbst. Die Leistung eines Kraftmanipulators liegt im unteren bis mittleren dreistelligen Kilogramm Bereich. Durch sechs Freiheitsgrade ist der Kraftmanipulator in der Lage, auch komplexe Greif- und Hebeaufgaben zu verrichten.

Die Kraftmanipulatoren werden zur Hantierung von schweren Abfallgebänden und Abfällen eingesetzt (s. Abb. 24), wie zum Beispiel zur Aufnahme von Werkzeugen zum Öffnen der Verschraubung von Flanschdeckelfässern oder zur Hantierung der entnommenen Deckel, wenn eine Probenahme vorgenommen werden muss.

Mit Hilfe der Kraftmanipulatoren können ebenfalls schwere oder geometrisch komplexere Abfälle aus den Gebänden entnommen werden.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 153

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -



Abb. 24: Beispiele für Manipulatoren. Links: Greifer für G3 Abfallcontainer (hochaktive Abfälle), Lifting Cap. 8800kg. Rechts: Mechanischer Fassgreifer für 165 Liter Pressfass.

### 7.4.3.3 Einrichtungen zur Druckmessung und Druckentlastung

Eine gegebenenfalls erforderliche Druckentlastung, Messungen über oder Vorkehrungen gegen einen erneuten Druckaufbau innerhalb von Abfallgebinden werden in einem definierten Bereich für Druckentlastung und Beprobung durchgeführt.

Hierzu wird der zu untersuchende, mit Rohabfall befüllte Behälter vorzugsweise mit nichthebenden Transportmitteln, (z. B. Rollenbahn) unter der Einrichtung zur Druckentlastung und Beprobung positioniert.

Das Abfallgebinde wird hier automatisiert mit einer Öffnung zur Druckentlastung versehen, vorzugsweise geschieht dies durch Eintreiben eines Filtereinsatzes. Nachdem der Filtereinsatz positioniert ist, kann über die Einrichtung eine Druckmessung durchgeführt werden, sowie eine kontrollierte Druckentlastung erfolgen. Eine Messung der im Gebinde vorhandenen Gase kann an dieser Stelle in den Prozess integriert werden (s. Kapitel 8.6.3). Durch seine Konstruktion verhindert das Equipment für den Prozess des Filtereintreibens, der Druckmessung und der Druckentlastung eine unkontrollierte Freisetzung von Gasen. Nach durchgeführter Druckmessung bzw. Druckentlastung wird die Vorrichtung vom Abfallgebinde entfernt, der Filtereinsatz verbleibt im Abfallgebinde.

### 7.4.4 Abschirmung


Um eine Gefährdung des Bedienpersonals bei der Durchführung ihrer Tätigkeiten auszuschließen, werden alle Handlungsschritte an offenen radioaktiven Stoffen in Räumen ausgeführt, für die kein Personenzugang besteht.

Zum Schutz des Bedienpersonals werden weiterhin zwischen den zu hantierenden Abfällen und dem Personal geeignete Abschirmmaßnahmen vorgesehen. Diese sind in erster Linie die Ausführung der Wände in Gießbeton (mit Stahlauskleidung) mit geeigneten Wandstärken. Diese müssen im weiteren Projektverlauf entsprechend passenden Abschirmrechnungen definiert werden, da zum Zeitpunkt der Konzepterstellung noch keine verlässliche Aussage über das genaue Größenspektrum der erwarteten Dosisleistung im Rahmen dieses Berichts verfügbar ist (s. Kapitel 4.1.1). Typische Wandstärken vergleichbarer Anlagen liegen im Bereich der Heißen Zelle R123 bei mindestens 0,8 Meter, im Bereich der Handlungszelle für schwachradioaktive Abfälle R122 bei circa 0,5 Meter.

Weiterhin werden die Aufgaben soweit möglich, automatisiert durchgeführt. In Bereichen in denen eine Automatisierung der Prozesse inklusive Videoüberwachung nicht ausreichend ist und Bedienpersonal direkten Einblick auf auszuführende Tätigkeiten benötigt (zum Beispiel im



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 154

Arbeitsbereich der Gelenk- und Kraftmanipulatoren), wird das Bedienpersonal durch den Einsatz von Bleiglasfenstern vor Strahlung geschützt.

### 7.5 Spezialmessstationen für weitere Charakterisierungsschritte

Während Standardmessstationen für grundlegende Charakterisierungsmessungen an allen IB mit einem Durchsatz von 5,3 UV pro Tag (bei 3 parallelen Messstraßen) konzipiert sind, sind daneben spezielle Messstationen für weitere Charakterisierungsschritte vorgesehen, welche in diesem Kapitel behandelt werden. Spezialmesseinrichtungen kommen dann zur Anwendung, wenn die Messungen mit den Standardmethoden keine hinreichende Informationslage und/oder ausreichende Genauigkeit über den im IB enthaltenen Abfall ermöglichen. Hierfür werden nicht so viele parallele Messstraßen vorgesehen, dementsprechend ist der Durchsatz auch nicht so hoch wie bei Standardstationen.

Nach Durchführung der Standardmessung und Auswertung aller danach vorliegenden Informationen wird fallweise bestimmt, welche Gebinde an welchen dieser Stationen gemessen werden sollen. Dort wo zylindrische bzw. Einzelgebinde in Überfässern gemessen werden sollen, wird entsprechendes Hantierungsequipment dafür vorgesehen.

#### 7.5.1 Tomographischer Scanner (für einzelne Gebinde)

Da die tomographische Messung an einem IB sowohl wegen der dickeren Abschirmung, größerer Dimensionen, höherer Durchsatzforderung, als auch ggf. der Überdeckung der enthaltenen Abfallfragmente (insbesondere mehrerer Fässer) weniger präzise ist, stellt diese Station die Möglichkeit dar, einzelne zylindrische Gebinde noch einmal genauer strukturell zu untersuchen, sofern notwendig. Die genaue Auslegung der Messmethodik (Transmissions-Computertomographie und/oder Gamma-Radiographie) ist entsprechend einer Detailbetrachtung und Kosten/Nutzen-Abschätzung bei der Detailplanung vorzusehen. Auch ein kombinierter Einsatz in einem System kann erfolgen.

Die Gamma-Radiographie findet dabei hier für einzelne Gebinde Anwendung und kann im Vergleich zum Standardscanner genauere Ergebnisse liefern. Die Transmissions-Computertomographie ist nur an einzelnen Gebinden praktikabel einsetzbar und liefert deutlich genauere und umfangreichere Ergebnisse als die Gamma-Radiographie, erfordert aber auch deutlich höhere Messzeiten und Aufwand.

#### 7.5.2 NAA (Gebindemaßstab, nur für zylindrische Gebinde)

Die NAA im Gebindemaßstab ist nach derzeitigem Stand der Technik nur für zylindrische Gebinde mit geringem Durchsatz verfügbar. Einzelne zylindrische Gebinde, für die möglichst zerstörungsfrei der chemisch/stoffliche Inhalt bestimmt werden soll, können daher in dieser Station entsprechend auf ihre chemische Zusammensetzung analysiert werden.

#### 7.5.3 Neutron-Radiographischer Scanner


Die Station für Neutron-Radiographie ist als spezielle Messstation für strukturelle Messungen von rückgeholten radioaktiven Abfällen mit schweren Abschirmungen vorzusehen. Aufgrund der hohen Messzeiten und des damit verbundenen geringeren Durchsatzes ist diese nicht als Standardmessung geeignet.

### 7.6 Förderbandmessanlage für Salzgrus

Salzgrus (mit keiner oder relativ geringer Beimischung von losem Gebindematerial) fällt im Rahmen der Rückholung in bisher noch unbekanntem Volumen an. In einer ersten Abschätzung gemäß [63] werden hier ca. 50.000 m<sup>3</sup> zugrunde gelegt.

Für IB, die ganz oder teilweise Salzgrus enthalten, wird eine Förderbandmessanlage (FMA) für die effiziente Verarbeitung, Sortierung und wo möglich Freigabe großer Mengen Salzgrus, die aus



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 155

gleichen Entnahmebereichen unter Tage stammen (da eine Vermischung verschiedener Stoffströme und somit ggf. eine Verdünnung nicht zulässig ist), vorgesehen.

Die FMA führt einen gammaspektrometrischen Messbetrieb mit (im Vergleich zur Behältermessung) hohem Durchsatz aus und liefert daher, bezogen auf das Spektrum der betrachteten Messgrößen, ein der radiologischen IB-(Standard-)Messung vergleichbares Ergebnis, d. h. die Aktivitäten der betrachteten Schlüsselnuklide. Genau wie dort können diese Ergebnisse mit den weiteren Daten und Messergebnissen kombiniert werden (insb. Laboranalysen für die nicht direkt messbaren Nuklide, Nutzung von Nuklidvektoren, usw.) und – sofern das Material dazu in Frage kommt – als Grundlage für die Freigabe genutzt werden. Die Qualität der Messung (die erreichbaren Nachweisgrenzen) ist aufgrund des kontrolliert portionierbaren und nicht abgeschirmten Materialstroms grundsätzlich besser, als bei einer vergleichbaren Messung im IB. Dieses Verfahren ist etabliert und geeignet, die üblichen Schlüsselnuklide mit ausreichender Genauigkeit für die Freigabe nachzuweisen. Die genaue Auslegung – auch hinsichtlich Durchsatz – hat dabei in der weiteren Detailplanung zu erfolgen. Sofern eine Kosten-Nutzen-Betrachtung dies rechtfertigt, besteht zusätzlich dabei auch die Option, weitere Messschritte in die Förderbandmessung zu integrieren, wie beispielsweise automatisierte Probenahme, Alpha-, Beta- und Neutronmessungen.

Hinsichtlich des erforderlichen Platzbedarfes einer Förderbandmessanlage zur kontinuierlichen Messung großer Materialmengen sowie der potenziellen Staubeentwicklung im Rahmen der Materialaufgabe und Vorbehandlung, sollte diese Anlage in einem von den übrigen Messstationen abgetrennten Bereich stehen und das zur Behandlung und Charakterisierung eingesetzte Equipment, wenn notwendig, zusätzlich eingehaust werden. Aufgrund des nur begrenzt zur Verfügung stehenden Platzes bietet es sich daher an, die Förderbandmessanlage in einem eigenen Geschoss der Abfallbehandlungsanlage aufzustellen. Im Rahmen der weiteren Konzeptplanung wird hierfür ein Untergeschoss gewählt, welches eine leichte logistische Anbindung an die zu transportierenden Materialströme erlaubt (s. Kapitel 7.1.1).

Die eingehende Umverpackung mit einem mit Salzgrus befüllten IB wird über den Bereich Einschleusung Innenbehälter R130 in die Abfallbehandlungsanlage eingeschleust. Die prinzipielle Durchführung des Einschleusens ist in Kapitel 7.2.3 beschrieben. Hierfür stehen zwei Optionen zur Verfügung:

1. Der entnommene IB wird im Bereich R121 zur Einschleusung des Salzgruses vom Erdgeschoss in das 1. Untergeschoss transportiert.
2. Es wird ein separater Annahmebereich mit direktem Anschluss an das 1. Untergeschoss vorgesehen für IB, welche ausschließlich Haufwerk enthalten (gem. den Informationen aus der Dokumentation unter Tage).

Im Untergeschoss wird der Innenbehälter über Transportsysteme in den Bereich Prozessraum Salzgrus Förderbandmessanlage R022 gebracht und dort in den Aufgabetrichter entleert. Bei den Transport-, Befüll-, oder Entleerungsvorgängen wird der Deckel des Innenbehälters mit einem hierfür ausgelegten Deckelgreifer entfernt und verbleibt im Deckelgreifer bis der Prozessschritt der Entleerung abgeschlossen ist (s. Kapitel 7.2.5). Anschließend wird der Deckel zum weiteren Transport wieder auf den Innenbehälter aufgelegt.

Salzgrus der Kategorie LAW oder MAW wird ebenfalls in leere IB gefüllt, über den Bereich Einschleusung Salzgrus R021 in das Erdgeschoss transportiert (s. Kapitel 7.2.6) und dort entweder zur Pufferlagerung oder direkt zur weiteren Konditionierung übergeben.

## 7.7 Verarbeitungsstation für Flüssigabfälle

Die Flüssigabfälle werden der Abfallbehandlungsanlage in geeigneten Flüssigbehältern angeliefert. Diese Flüssigbehälter sollten mit den Anschlagpunkten der Innenbehälter abgestimmt werden, um Hantierungsschritte und -werkzeuge vereinheitlichen zu können. Die Verarbeitungsstation für diese



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 156



flüssigen Abfälle muss sicherstellen, dass diese für eine weitere Charakterisierung, Konditionierung und den geeigneten Entsorgungsweg (vgl. Kapitel 3.3.6) in geeigneter Form vorliegen.

Die weitere Auslegung der Verarbeitungsstation für Flüssigabfälle ist abhängig von den geplanten Konditionierungsschritten sowie der zu erwartenden Herkunft, Menge und Zusammensetzung an Flüssigabfällen.

### 7.8 Laborbereich

Aufgrund der zu erwarteten hohen Menge an Proben, ist für die Behälterbereitstellung, Probenlagerung, Verwaltung, Sicherstellung der eindeutigen Identifizierung, sowie Sammlung, Organisation und Weitergabe an die Laborauswertung ein signifikanter, logistischer Aufwand erforderlich. Im Bereich der Abfallbehandlungsanlage ist daher hierfür ein zusätzlicher Platzbedarf für die Probenlogistik einzuplanen.

Die Probenauswertung kann in externen oder internen Labors durchgeführt werden. Ein internes Labor bietet dabei den Vorteil einer zeitnahen Auswertzeit nach der Probenahme. Im Rahmen der Auslegung notwendiger Raumbereiche wird daher ein internes Labor, räumlich getrennt von den übrigen Messeinrichtungen, vorgesehen.

### 7.9 Sonstige Bereiche

Für die Abfallbehandlungsanlage werden, neben den Messanlagen auch zusätzliche Büro- und Infrastrukturbereiche benötigt, um die Funktionsfähigkeit der Anlage sowohl technisch als auch personell zu ermöglichen und sicherzustellen.

Bürobereiche, welche neben der Verwaltung insbesondere auch der Datenauswertung dienen sowie Steuerstände für die Anlagenbedienung sind in einem von den Messbereichen entsprechend strahlenschutz- und sicherheitstechnisch abgetrennten Gebäudebereich vorzusehen. Die nötigen Datenverbindungen zur Abfallbehandlungsanlage müssen sichergestellt sein.

Weiterhin ist die technische Infrastruktur zum Betrieb der Abfallbehandlungsanlage vorzusehen, welche z. B. Transport- und Betriebsmittellager, technische Versorgungs- und Unterstützungsanlagen sowie Notfallequipment vorhält.


### 7.10 Zusammenstellung der Raumbereiche mit Durchsatzabschätzung

Die Tab. 51 enthält eine Zusammenstellung aller in Kapitel 7 vorgesehenen Charakterisierungsstationen unter Angabe der auf Basis von Erfahrungswerten geschätzten Dauer pro durchgeführtem Charakterisierungsschritt, sowie dem erwarteten Flächenbedarf pro Messstation.

Auf Basis des aktuellen Planungsstandes wird von einer Anlieferung von 5,3 UV pro Tag an die Abfallbehandlungsanlage ausgegangen, was etwa einer Anzahl von 10 bis 20 IB entspricht. Aufgrund der Möglichkeit einer ausreichend dimensionierten Pufferlagerung, sowohl vor der Charakterisierung als auch vor der Konditionierung, wird der erforderliche Durchsatz der Abfallbehandlungsanlage von dem Fortschritt der Rückholung entkoppelt. Zur weiteren Planung werden die 5,3 UV pro Tag jedoch als Richtwert zugrunde gelegt.

Da die IB mit den geborgenen Abfällen aufgrund der unterschiedlichen Abfalleigenschaften viele, meist nicht immer mit gleichem Umfang und Abfolge, planbaren Vorbehandlungs- und Charakterisierungsverfahren unterzogen werden müssen, ist eine Prognose des Gesamtdurchsatzes der Abfallbehandlungsanlage mit großen Unsicherheiten behaftet.

Zur Abschätzung von Leistung und Durchsatz auf Basis der in diesem Konzept festgelegten Verarbeitungsstationen und Prozessschritte wird mit diesem Bericht auch eine eigens hierfür entwickelte Kalkulationstabelle zur Verfügung gestellt. Diese erlaubt es, aus den zugrundeliegenden Annahmen über die einzelnen Verarbeitungsschritte (insbesondere Anteile von verschiedenen Abfallkategorien und typische Prozessschrittdauern) die zentralen Kenngrößen, sowohl über einzelne Abfallkategorien als auch über den gesamten rückzuholenden Abfall gemittelt wie folgt zu bestimmen:

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 157

- Mittlere Anlagen-Belegungszeit pro IB und pro UV (d. h. die Zeit, die ein IB bzw. UV in Summe für alle Schritte innerhalb der CA verbringt)
- Realisierbarer, mittlerer Durchsatz pro IB und pro UV (d. h. wie viele IB bzw. UV im Mittel pro Stunden bzw. pro Arbeitstag charakterisiert werden können)

Die verwendeten Annahmen sind im Planungstool selbst dargelegt und grundsätzlich alle variabel anpassbar, um verschiedene Ausgangswerte und Szenarien betrachten zu können. Es handelt sich bei der hier verwendeten Wertzuordnung um die Wahl konservativer Größen auf Basis des aktuellen Planungs- und Kenntnisstandes.

Zentrale Annahmen für die Anlagenauslegung sind hier insbesondere:

- 3 Messstraßen für Standardmessungen (Radiologie und Tomographie für IB)
- Je 1 Messstraße bzw. Einheit für die Handlung und Spezialmessstationen sowie Messung Salzgrus/Flüssigkeiten
- 50 Pufferlagerplätze innerhalb der Charakterisierungsanlage für IB
- Im Mittel 2,5 rückgeholte Einzelgebinde pro IB
- Im Mittel 3 IB pro UV
- Anzahl entnommener Proben (pro rückgeholtem Fass oder pro IB): 10
- Mittlere Probenahmezeit: 15 min
- Zweischicht-Betrieb (16 h Arbeitszeit)
- Für die Dauer von Mess- und Handlungungsverfahren wurden konservative Werte auf Basis der Übersichtstabellen in Kapitel 6 sowie weiterer Erfahrungswerte verwendet.

Wesentliche Annahmen für die Geometrien und Anteile der rückgeholten Abfälle sind in Tab. 49 dargestellt:

Tab. 49: Zugrunde gelegte Anteile der verschiedenen Geometrien der rückgeholten Abfälle an der Gebindezahl.

Anteil *	Grundgeometrie	Detailgeometrie
12,0 %	Stabile EG	IB mit intakten EG, ohne Salzgrus (LAW)
15,0 %	Stabile EG	IB mit intakten/beschädigten EG, mit Salzgrus/Anhaftungen (LAW)
1,0 %	Stabile EG	IB mit MAW-Gebinden
32,0 %	Loses Material	Mischung Salzgrus / instabile EG (LAW)
1,0 %	Loses Material	Mischung Salzgrus / instabile EG (MAW)
7,0 %	VBA/Sondergebinde	VBA
0,5 %	VBA/Sondergebinde	Sondergebinde / unverpackte Abfälle
18,0 %	Salzgrus	Reiner Salzgrus
8,0 %	Salzgrus	Salzgrus mit losem Abfallmaterial
5,5 %	Flüssigabfälle	Tank mit Flüssigabfällen


\* Der Anteil wurde auf Basis der vorhandenen Informationen soweit möglich abgeschätzt und kann zur weiteren Planung variiert werden.

Diesen liegen vor allem die folgenden Basisdaten zu Grunde:

- Laut Rückholplan [26] werden ca. 50.000 m<sup>3</sup> radioaktive Abfälle und 50.000 m<sup>3</sup> Salzgrus/Lösungen erwartet. Auf Basis dieser Annahme erfolgt eine Einteilung in
  - ca. 30 % hauptsächlich Salzgrus/Lösungen,
  - ca. 30 % Gebinde ohne Salzgrus,
  - ca. 40 % Mischung bzw. Gebinde mit Anhaftungen.
- Vergleich der Einlagerungsmethoden in den ELK (Versturz- vs. Stapeltechnik, s. Tab. 31): Die Versturztechnik hat einen leicht größer erwarteten Anteil, daher ist entsprechend ein solcher an Salzgrus / beschädigten / instabilen EG am Gesamtvolumen vorgesehen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 158
--	------------

- Für MAW liegen nur ca. 1.300 Gebinde von insgesamt etwa 126.000 eingelagerten Gebinden vor. Daher wurde für die MAW-Abfälle in der obigen Tabelle konservativ ein Anteil von jeweils 1 % gewählt. Dies berücksichtigt auch etwaige Abweichungen in der Einlagerungsdokumentation zu den LAW-Gebinden.
- Der Anteil der VBA an allen Gebinden laut ASSEKAT [56] beträgt 11,7 %.
- Laut ASSEKAT beträgt die Zahl an Sonderverpackungen 17 Stück und an unverpackten Abfällen 16 Stück (s. Anhang 2). Ein Anteil von 0,5 % stellt somit eine konservative Schätzung dar, die damit auch evtl. auftretende, großvolumige Trümmerteile mitberücksichtigen kann.

Insbesondere der durch das Planungstool errechnete mittlere Durchsatz spiegelt die zentrale Leistungs- und Durchsatzangabe wider. Im Gegensatz zur mittleren Anlagen-Belegungszeit wird der dadurch ausgedrückte Anlagendurchsatz nicht von der Summe aller Bearbeitungsschritte bestimmt (da die einzelnen Anlagenteile parallel arbeiten), sondern durch den längsten, jeweils für einen IB betrachteten auftretenden Prozessschritt.

Ferner erlaubt der Vergleich einzelner Abfallkategorien und Prozessschritte untereinander eine schnelle, quantitative Aussage, an welchen Stellen Engpässe hinsichtlich des Gesamtdurchsatzes liegen und daher der Prozess dort zu optimieren wäre. Solche Optimierungen können insbesondere dadurch getroffen werden, dass entweder mehr Mess-/Verarbeitungssysteme geplant oder die Zeit eines einzelnen Prozessschrittes durch geeignete Planung der Anlagenbelegung und Logistik verringert wird.

Folgende Bemerkungen bzgl. Methodik und Handhabung sind für dieses Planungstool zu berücksichtigen:

- Grundsätzlich wird als zu charakterisierende Einheit ausschließlich der IB betrachtet.
- Ferner handelt es sich um eine statistische Betrachtung, d. h. alle Größen sind als Mittelwerte über das gesamte, betrachtete Material dargestellt und zu verstehen (auch größere Ausreißer nach oben und unten können auftreten, hier wird jedoch nur das statistische Mittel betrachtet). Aufgrund der hohen Gesamtmenge an rückgeholtem radioaktiven Abfall und dadurch relativ kleinen statistischen Unsicherheiten stellt dies eine sinnvolle Betrachtungsgrundlage dar.
- Die Materialströme können sich aus unterschiedlichen Abfallarten und -eigenschaften zusammensetzen (s. Kapitel 4.5.3), was eine Aufteilung in die einzelnen, zu erwartenden Fälle erforderlich macht. Das zu charakterisierende Abfallmaterial wurde daher zunächst aufgeteilt in bestimmte übergeordnete Kategorien (s. Tab. 49), sowie eine weitere Unteraufteilung in Szenarien entsprechend ihrer messtechnischen Eigenschaften. Jedem Szenario wird dabei ein Prozentwert zugewiesen, der den Anteil der betreffenden IB an der zu charakterisierenden Gesamtzahl darstellt. Die zugewiesenen Werte sind auf Basis grundlegender, bekannter Informationen geschätzt. Die dafür verwendeten Annahmen sind in der Tabelle abgelegt.
- Zur Durchsatzabschätzung werden einige grundlegende messtechnische Parameter definiert und entsprechend geschätzt:
  - Hantierungsform
  - Messbarkeit über Standardstationen
  - Mittlere Zahl IB pro Cluster
  - Anteil IB mit Rückschleusung in PL oder KA
  - Mittlere Anzahl Proben pro IB
- Der Anteil IB mit Rückschleusung in PL oder KA berücksichtigt, dass einige IB nach einer bestimmten Analysezeit (für die eine mittlere Annahme zugrunde gelegt wird) direkt durch die CA ohne weitere Ausschleusung vollständig charakterisiert werden können. Es können aber auch IB nach den ersten Charakterisierungsschritten aus der CA ausgeschleust werden müssen
  - in die KA für notwendige Vorbehandlungs- oder Konditionierverfahren

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AAANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 159

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

- in das PL als Teil eines Clusters, wo auf ähnliche IB eines Clusters gewartet wird
  - in das PL bis zum Erhalt langwierigere Analyseergebnisse
- Für jedes Szenario können sich diese Werte deutlich unterscheiden und werden daher jeweils einzeln festgelegt. Sobald die betreffenden IB ausgeschleust sind, nehmen sie keinen Platz in der CA ein und müssen daher auch nicht für den Durchsatz mitberücksichtigt werden, weswegen diese Trennung in der Betrachtung gemacht wird.
- Für jedes Szenario wird dann in der Durchsatz-Schätzung jeweils auf Basis der definierten Annahmen festgelegt, welches Teilsystem der CA wie lange im Mittel belegt ist. Dies erfolgt auf Basis einer Abschätzung von „Standard-Zeiten“ anhand der Angaben von Messzeiten in Tab. 51. Die Standard-Zeit ist für jede Station bzw. jedes System einheitlich festgelegt und beschreibt den Fall eines typischen, relativ einfachen Prozessablaufs (z. B. die Zeit, die der tomographische Scanner unter guten Messbedingungen für einen IB benötigt). Eine Zuweisung zu guten Messbedingungen erfolgt mit dem Wert 1, höhere Werte beschreiben entsprechend schwierigere Bedingungen, während niedrigere Werte z. B. eine nur teilweise Nutzung einer Station beschreiben. Die Minuten-Werte der Standard-Zeiten selbst können auf diese Weise einheitlich für alle Szenarien geändert werden.
  - Die o. g. Annahmen werden dann automatisch in Minutenwerte umgerechnet, die im Mittel jeder Anlagenteil pro Szenario benötigt. Dabei wird auch berücksichtigt, dass Teile in mehrfacher Ausführung konzipiert werden können, und die mittlere Belegungszeit wird entsprechend um diesen Faktor verringert. Der längste Zeitwert pro Szenario wird automatisch markiert und zur Berechnung des erreichbaren Durchsatzes verwendet. Mittelwerte pro Kategorie und Gesamtabfall werden automatisch auf Basis der den Szenarien zugewiesenen Anteils-Prozentagen gebildet.

Da die sich ergebenden Resultate stark von den eingegebenen Annahmen abhängen, eignet sich diese Planungstabelle insbesondere dafür, verschiedene Annahmen und Szenarien zu betrachten und deren Ergebnisse damit schnell und einfach abzuschätzen. Eine Festlegung auf bestimmte Annahmen ist an dieser Stelle nicht zielführend, vielmehr soll die Planungstabelle als dynamisches Hilfsmittel dazu dienen, den Durchsatz abzuschätzen, Optimierungspunkte zu identifizieren und den gesamten Satz an Szenarien, Parametern und Annahmen entsprechend effizient miteinander abzustimmen. Dies wird durch folgende Berechnungen veranschaulicht:

In einer ersten Berechnung wurden die Annahmen auf Basis einer abschätzend-konservativen Wahl der Parameter getroffen, die sich insbesondere an der Zusammenstellung der Messstationen in Tab. 51 orientiert.

Zudem wurde der Vergleich der mittleren Anlagenbelegungszeiten und Durchsätze in Abhängigkeit von den jeweiligen Extremfällen im Hinblick auf Behälterzustand (Fall 1)


- Fall 1.1: alle Behälter (sofern vorhanden) intakt
- Fall 1.2: kein Behälter (sofern vorhanden) intakt

sowie Messbarkeit und Aufwand der Handhabung (z. B. Öffnen, Sortieren) (Fall 2)

- Fall 2.1: alle Abfälle sind gut messbar und erfordern wenig Handhabung
- Fall 2.2: alle Abfälle sind schlecht messbar und erfordern eine (aufwändige) Handhabung

durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 50 dargestellt.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 160

Tab. 50: Mittlere Anlagenbelegungszeiten und Durchsatz in Abhängigkeit von Behälterzustand bzw. Messbarkeit.

	Mittlere Annahmen gem. Tab. 49	Fall 1.1 Alle Behälter intakt	Fall 1.2 Kein Behälter intakt	Fall 2.1 Abfälle gut messbar	Fall 2.2 Abfälle schwer messbar, Handhabung aufwändig
<b>Innenbehälter</b>					
Mittlere Gesamt-Anlagenbelegungszeit pro IB [h]	8,80	11,22	7,32	5,19	14,22
Längste, mittlere Verarbeitungsschritt-Dauer pro IB [h]	1,84	2,93	1,16	1,74	3,03
Realisierbarer Mittlerer Durchsatz [IB/h]	0,54	0,34	0,86	0,58	0,33
Realisierbarer Mittlerer Durchsatz [IB/Arbeitstag]	8,68	5,47	13,80	9,20	5,28
<b>Umverpackung</b>					
Mittlere Gesamt-Anlagenbelegungszeit pro UV [h]	26,41	33,66	21,97	15,58	42,67
<b>Realisierbarer mittlerer Durchsatz [UV/Arbeitstag]</b>	<b>2,89</b>	<b>1,82</b>	<b>4,60</b>	<b>3,07</b>	<b>1,76</b>

Eine Durchsatzberechnung für die Charakterisierungsanlage auf Basis abschätzender Annahmen ergab einen mittleren Durchsatz von ca. 3 UV pro Tag und liegt somit unterhalb der zum derzeitigen Planungsstand prognostizierten mittleren Anlieferungsrate von 5,3 UV pro Tag. Die Abfallarten mit den höchsten Durchsätzen sind hierbei:

- Salzgrus (auch mit Trümmerteilen), insbesondere dort, wo es homogen und leicht in großen Mengen messbar ist: 8 bis 10 UV pro Arbeitstag
- Gebinde und Mischung Gebinde/Salzgrus mit guten Messeigenschaften und möglicher Clusterbildung: 3 bis 4 UV pro Arbeitstag

Die Abfallarten mit den geringsten Durchsätzen sind:

- VBA und Sondergebände mit schlechten Messeigenschaften: ca. 0,5 UV pro Arbeitstag
- Gebinde und Mischung Gebinde/Salzgrus mit schweren Abschirmungen, notwendiger Beprobung etc.: ca. 0,5 – 1,0 UV pro Arbeitstag.

Der mittlere prognostizierte Durchsatz von 5,3 UV pro Tag wird auch für den Fall 2.1, dass alle Abfälle gut messbar wären, nicht erzielt. Sowohl die Behälterzustände als auch die Messbarkeit der Abfälle haben somit keinen wesentlichen Einfluss auf den mittleren Durchsatz der Charakterisierungsanlage. Vielmehr wurden als wesentliche Begrenzungsfaktoren folgende Prozessabläufe identifiziert:

- der Zeitbedarf für Probenahme und -logistik (kritischster Pfad)
- der Umgang mit rückgeholten Abfällen in der Heißen Zelle/Hantierungszelle im Rahmen der (Vor-)Behandlung der rückgeholten radioaktiven Abfälle
- der tomographische Scanner für zylindrische Gebinde aufgrund hoher Messzeiten. Da dieses Verfahren jedoch eine Spezialmessung darstellt, wird dieser Faktor erst kritisch, wenn standardisierte Messverfahren für einen großen Teil der rückgeholten Abfälle nicht anwendbar sind.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
									Blatt: 161

Möglichkeiten zur Optimierung sind somit

- die Optimierung der Probenanzahl und Verbesserung der Probenlogistik (die Auswertezeit ist durch Pufferlagerflächen zu kompensieren),
- die Erhöhung der Anzahl paralleler Messstraßen,
- ggf. die Errichtung einer zweiten Hantierungszelle sowie
- die Erhöhung der Arbeitszeit auf drei Schichten pro Tag.

Eine Durchsatzabschätzung wurde daher für eine optimierte Anlagenauslegung mit Änderung der folgenden Parameter durchgeführt:

- Verdopplung der Kapazität für Probenahme und -logistik
- Nutzung von zwei anstelle von einem tomographischen Scanner für zylindrische Gebinde
- Verbesserung der mittleren Verarbeitungszeiten in der Hantierungszelle (von 90 min. auf 60 min.) und Heißer Zelle (von 150 min. auf 120 min.), z. B. durch größere Kapazitäten in einer Zelle oder die Errichtung einer zusätzlichen Hantierungszelle und Heißen Zelle.

Im Ergebnis kann hier für einen Zwei-Schicht-Betrieb eine Erhöhung des mittleren Durchsatzes der Charakterisierungsanlage von ca. 3 auf ca. 6 UV pro Tag erzielt werden. Die analoge Berechnung für einen Drei-Schicht-Betrieb hätte eine Durchsatzerhöhung auf ca. 9 UV pro Tag zur Folge.

Auf Basis dieser Ergebnisse können im Rahmen der weiteren Planung der Abfallbehandlungsanlage weitere Annahmen getroffen und Möglichkeiten zur Optimierung der Gesamtabläufe in der Abfallbehandlungsanlage identifiziert werden.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	LA AA	Lfd Nr NNNN	Rev. NIN
9A	23420000			MAK	RB	0002	00	

**BGE**  
BUNDESGESSELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG

Blatt: 162

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der SchachthanlageASSE II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Tab. 51: Zusammenstellung der Messstationen mit zugehörigen Messverfahren, geschätzter Dauer und Flächenbedarf.

Station	Messung / Maßnahme	Eingesetzte Verfahren	Mindest-Messdauer	Flächenbedarf
<b>Standardstationen</b>				
Einschleusung <sup>6</sup>	Ausladen der Innenbehälter und Übernahme Eingangsmessung (ODL, Wischtest) ggf. Abgleich mit ASSEKAT sofern möglich (Farbringe, Fassnummern etc.) Sichtung der Daten aus der Bergung Bestimmung weiterer Schritte [Ggf. Wägung]	Dosisleistungssonden (inkl. Neutron) Hantierungstechnik ggf. Wägung ggf. Kontaminationsmessung	60 Min. pro UV (bis zu 3 IB)	65 m <sup>2</sup>
Tomographischer Scanner für IB bis 1 t	Strukturelle Untersuchung [Ggf. Wägung]	Digitale Gamma-Radiographie	30 - 60 Min. pro IB	25 m <sup>2</sup>
Radiologisches Messsystem für IB bis 1 t	Aktivitätsbestimmung Bestimmung von spaltbarem Material Einladen der IB in Umverpackung Ausgangsmessung (ODL, Kontamination) Wägung	Gamma-spektrometrie, Passive und aktive Neutronenmessung	60 Min. pro IB	25 m <sup>2</sup>
Ausschleusung <sup>6</sup>		Dosisleistungssonden (inkl. Neutron), Kontaminationsmessung, Wägung	60 Min.	65 m <sup>2</sup>
<b>Hantierung</b>				
Hantierungszelle (für schwachaktive Abfälle)	Druckentlastungsmaßnahmen, ggf. Fassöffnung, visuelle Prüfung, Probenahme an rückgeholtten Abfällen, Leichte Manipulationsarbeiten (ggf. Entfernung Anhaftungen, Umschichten von Bestandteilen) Ggf. aus- und einpacken der Gebinde Sortierung und stoffliche Charakterisierung von inhomogenen Abfällen Ggf. Umverteilung in neue IB/Messbehälter	Druckentlastung, Manipulation/Sichtung, Ggf. Reinigung/Trennung, Probenahme	> 60 Min. <sup>7</sup> pro IB / Fass	75 m <sup>2</sup>
Heiße Zelle / Schwere Manipulationseinrichtung	Öffnung, Sortier- und Manipulationsarbeiten an MAW und anderen potenziell gefährlichen Abfällen, Zerlegung von Abfällen (insb. Beton und Abschirmungen), ggf. Neusortierung, Probenahme / Bohrkernentnahme	Manipulation/Sichtung, Mechanische Verfahren, Gamma-Kamera	> 1 - 2 Std. pro IB / Fass	90 m <sup>2</sup>

<sup>6</sup> Ein- und Ausschleusung sollten, wenn möglich, als eine Station ausgeführt werden, können aber auch separat konzipiert werden.

<sup>7</sup> Abhängig von der Art der Probenahmetechnik, keine pauschale Aussage möglich.


Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA MAK	UA AA RB	Lfd. Nr. NNNN 0002	Rev. NN 00	 <b>BUNDESGESSELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000								

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuziehenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 163

Station	Messung / Maßnahme	Eingesetzte Verfahren	Mindest-Messdauer	Flächenbedarf
<b>Messstationen für Spezialmessungen im Einzelfall</b>				
Tomographischer Scanner für zylindrische Gebinde	Einstellen in Überfahrsystem für direkte Messung	Transmissions-Computertomographie	min. 2 - 4 Std.	30 m <sup>2</sup>
NAA (Gebindemaßstab, nur für zylindrische Gebinde)	Aus- und einpacken der Gebinde für direkte Messung, zerstörungsfreie stoffliche Charakterisierung	Neutronen-Aktivierungsanalyse (NAA)	2 - 4 Std. pro Fass	30 m <sup>2</sup>
Gamma-Neutron-Radiographischer Scanner für IB oder EG	kombinierte Gamma-Neutron-Radiographische Messung zur zerstörungsfreien Durchdringung schwerer Abschirmungen	Gamma-Neutron-Radiographie	1 - 2 Std. pro IB o. EG	30 m <sup>2</sup>
Radiologisches Messsystem für Einzelgebinde	Aktivitätsbestimmung (ggf. Bestimmung von spaltbarem Material)	Gammastrahlenspektrometrie, Passive und aktive Neutronenmessung	1 - 2 Std. pro EG	30 m <sup>2</sup>
<b>Stationen für Salzgrus und Flüssigabfälle</b>				
Freigabemesstation für Salzgrus	Ausleeren aus IB, Brechung und Homogenisierung, Gammastrommessung auf Förderband oder direkt im IB, Probenahme	Mechanische Manipulation Gammastrommessung Probenahme und -analyse	Durchlaufender Prozess	50 m <sup>2</sup>
Verarbeitungsstation für Flüssigabfälle	Ggf. Konditionierung (Filterung, Fällung, Sedimentation, Beimischung zu Konditionierungsbeton usw.), Homogenisierung, ODL- und gammastrommetrische Messung, Probenahme	Mechanische Manipulation Gammastrommessung Probenahme und -analyse	Durchlaufender Prozess oder Messung in IB	25 m <sup>2</sup>
<b>Probenahme</b>				
Probenlogistik	Sammlung von Proben und Weitergabe nach extern (und ggf. intern)		-	(25 m <sup>2</sup> )
Internes Labor	Probenuntersuchung	Probenauswertung	-	(25 m <sup>2</sup> )
<b>Logistische Stationen und Bereiche</b>				
Bürobereiche / Steuerstände	Anlagensteuerung, Datenauswertung, Verwaltung	-	-	40 m <sup>2</sup>
Infrastrukturbereiche	Transport- und Betriebsmittellager, Technische Anlagen/Versorgung etc.	-	-	TBD
Strahlenschutz- und Dekontaminationsbereiche	Personalausgang, Strahlenschutz	-	-	40 m <sup>2</sup>



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -										

## 8 Prozessschritte der Charakterisierung

Die Prozessschritte der Charakterisierung sollen es ermöglichen, mit den unterschiedlichen und z. T. unbekanntem Abfalleigenschaften umgehen zu können. Das Material ist derart hinreichend zu charakterisieren, dass auf Basis der Messergebnisse das Material beschrieben und auf Basis dessen eine Entscheidung getroffen werden kann, ob und in welcher Form das Material konditioniert und zur Zwischenlagerung freigegeben werden kann.

Kommt nur eine Deklaration als radioaktiver Abfall mit Konditionierung in Frage, muss die Charakterisierung sicherstellen, dass die geeignete Konditionierungsmethode ausgewählt werden kann und alle für die Herstellung eines endlagerfähigen Gebindes nötigen Informationen vorliegen und dokumentiert sind.

Der kombinierte Einsatz von zerstörungsfreien und zerstörenden Verfahren wird hierbei als unumgänglich für eine hinreichend genaue und effektive Charakterisierung von Abfall mit weitgehend unbekanntem Kenntnisstand bewertet, wie es für einen großen Teil der rückgeholten Abfälle zu erwarten ist.

Die Konzeptplanung zur Charakterisierungsanlage sieht folgende Prozessschritte zur Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle vor:

- Einschleusung
- Pufferlagerung
- (Vor-)Behandlung
- Zerstörungsfreie Messungen
- Auswertung, Planung und Durchführung weiterer Messkampagnen
- Probenahme
- Gesamtauswertung und Export

Diese Prozessschritte können dabei an die jeweiligen Abfalleigenschaften angepasst werden und somit, wenn nötig, auch mehrfach durchgeführt werden.

Erforderliche Arbeitsschritte zur Vorbehandlung und Konditionierung sind mit den Prozessschritten derart zu verzahnen, dass hinsichtlich der logistischen Abläufe so wenig wie möglich Hantierungsschritte erforderlich und die Transportstrecken innerhalb der Abfallbehandlungsanlage optimiert werden.

Hierfür können sich für einige Prozessschritte mehrere Optionen anbieten, welche nachfolgend unter Darstellung der möglichen Vor- und Nachteile beschrieben werden. Diese Optionen bilden die Grundlage für den Variantenvergleich im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung und können hierbei insbesondere an die räumlichen Anforderungen aus der Konditionierung sowie dem Puffer- und Zwischenlager weiter angepasst werden.

### 8.1 Prozessschritt: Anlieferung und Einschleusung in die Abfallbehandlungsanlage

Die Einschleusung in den Anlieferungsbereich für Umverpackungen R132 dient der Übernahme der UV aus den Bereichen außerhalb der Abfallbehandlungsanlage.

Für die Eingangsbewertung des Inhaltes der IB werden im Prozessablauf der Anlieferung die vorliegenden Informationen aus der Bergung abgerufen (Abfallart-/zustand). Zusammen mit der Auslastung der ABA werden diese Angaben dazu herangezogen, die weiteren Umgangsschritte mit der UV festzulegen. Im Rahmen der Strahlenschutzmaßnahmen wird die Messung der ODL und Oberflächenkontamination an der Außenseite der UV durchgeführt. Eine Öffnung der UV oder IB erfolgt in dem Bereich R132 nicht. Für die Anlieferung und Einschleusung ist daher keine Hantierungszelle vorzusehen.

Eine Unterscheidung der Abläufe hinsichtlich der Abfallarten erfolgt im Rahmen der Einschleusung nur für große Mengen Salzgrus und ausschließlich flüssige Abfälle:

Für Salzgrus können zwei Optionen hinsichtlich der Abläufe im Rahmen der Einschleusung vorgesehen werden:

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

**BGE**  
 BUNDESGESELLSCHAFT  
 FÜR ENDLAGERUNG

Blatt: 165

- Option 1: Geringe Mengen Salzgrus (bis zu 3 t/h) werden über R130 eingeschleust.  
 Option 2: Sofern eine Förderbandmessanlage (s. Kapitel 7.6) aufgrund großer Mengen (> 3 t/h) an Salzgrus erforderlich ist, sollte zur Entkopplung der transportlogistischen Abläufe ein separater Zugang zur Einschleusung vorgesehen werden. Große Mengen an Salzgrus werden somit direkt zu der Vorbehandlung im Bereich der Förderbandmessanlage eingeschleust (R022).

Flüssige Abfälle aus dem Betrieb der Abfallbehandlungsanlage werden direkt der Charakterisierungs- und Verarbeitungsstation für Flüssigabfälle im Bereich der Konditionierung zugeführt (s. Kapitel 7.7).

Alle übrigen Behälter-/Abfallarten (intakte bzw. beschädigte Behälter, zylindrisch oder als Sondergeometrie, verlorene Betonabschirmungen und loses Abfallmaterial) werden in Umverpackung mit eingestellten IB angeliefert und im Rahmen der Einschleusung identisch über den Raumbereich R130 abgefertigt.

Die wesentlichen Abläufe und Informationsflüsse im Bereich der Anlieferung R132 bis zur jeweiligen Einschleusung sind in Abb. 25 dargestellt.

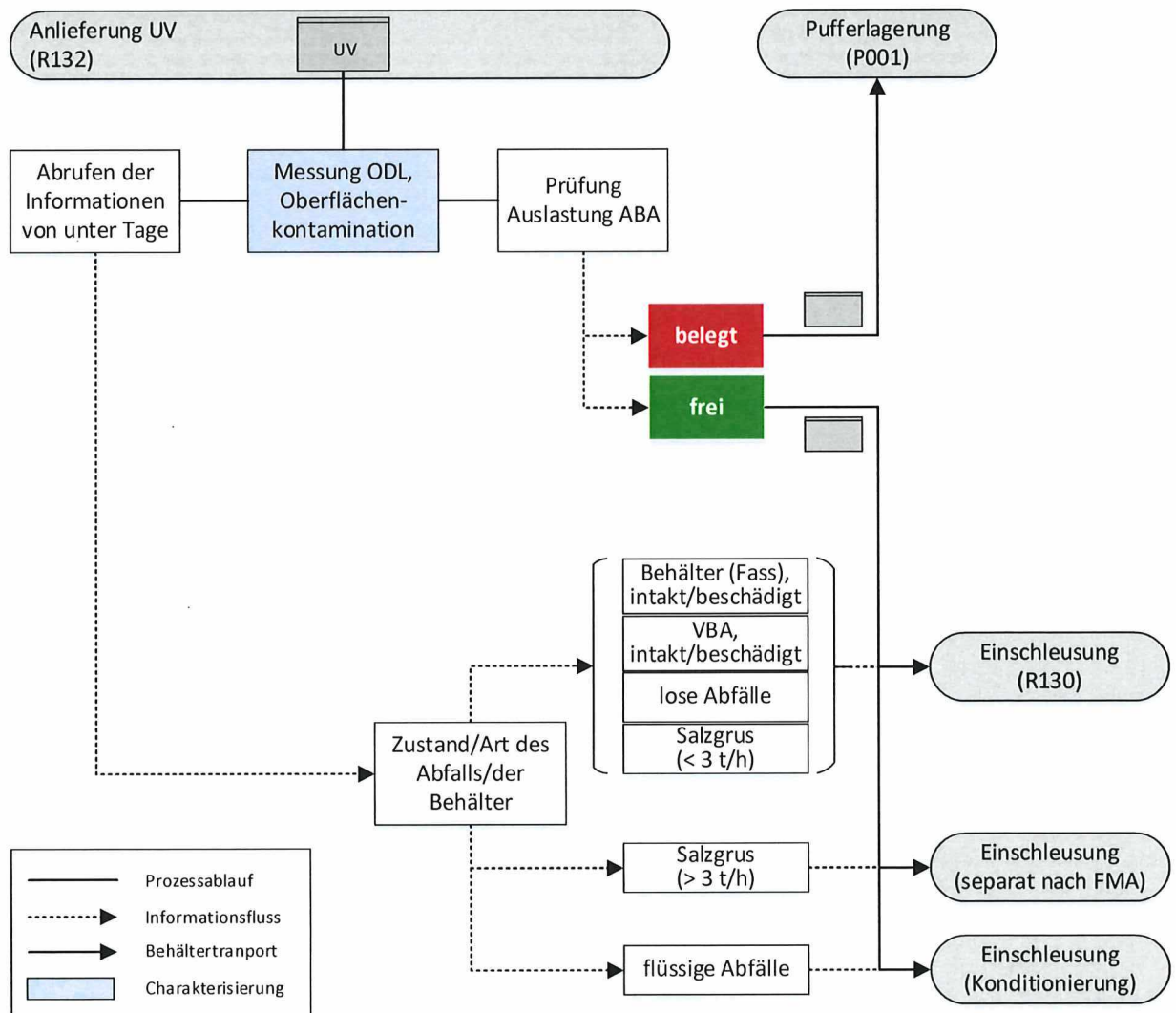



Abb. 25: Wesentliche Abläufe und Informationsflüsse im Bereich der Anlieferung R132 bis zur jeweiligen Einschleusung.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BGE**  
 BUNDESGESELLSCHAFT  
 FÜR ENDLAGERUNG

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 166
--	------------

Sofern im Rahmen der Auslastung der Abfallbehandlungsanlage erforderlich und um Warte- oder Stillstandzeiten zu vermeiden, können nach Sichtung der Informationen und Überprüfung/Verifikation der Erfüllung der sicherheitstechnischen Annahmekriterien die UV zunächst in das Pufferlager P001 transportiert werden (s. Kapitel 8.2). IB, welche in den Bereich R130 der Charakterisierung eingeschleust werden, werden den folgenden Prozessabläufen unterzogen:

1. *Öffnung der UV unter sicherheitstechnischen Vorkehrungen (fernhandelt in Doppeldeckelschleuse) und Entnahme der IB aus der UV:*  
Die UV werden geöffnet und die IB fernhandelt entladen (R131) (s. Kapitel 7.2.1 und 7.2.3).
2. *Sicherheitstechnische Überprüfung der IB:*  
Überprüfung auf potenzielle Sicherheitsrisiken im Bereich der Entladung und Übergabe der Innenbehälter (R131), die vor der weiteren Verarbeitung in der Abfallbehandlungsanlage berücksichtigt werden müssen (Überdruck, Gas- oder Flüssigkeitsaustritte, chemotoxische Gefahren), sofern diese nicht schon unter Tage unterbunden oder ausgeschlossen werden konnten. Die geschlossenen IB werden ebenfalls einer ODL-Messung unterzogen. Dies dient
  - a) der Einordnung der erforderlichen Strahlenschutzmaßnahmen beim Umgang mit dem jeweiligen IB (d. h. fernhandelt oder ggf. auch manuell),
  - b) der Einordnung der ODL-Größenordnung und einer Entscheidung zur Wahl der passenden Messkonfiguration für nachfolgende radiologische Messungen.
3. *Weiterleitung der einzelnen IB unter Berücksichtigung der vorliegenden Informationen von unter Tage zur Verarbeitung in der Abfallbehandlungsanlage gemäß den nachfolgenden Prozessschritten:*
  - a) Übergabe in den Transportkorridor R125
  - b) ggf. Vorbehandlung (s. Kapitel 8.3)
  - c) zerstörungsfreie Messungen (s. Kapitel 8.4)

Die wesentlichen Abläufe und Informationsflüsse von der Einschleusung bis zum Transport innerhalb der ABA entweder zur Vorbehandlung oder zur zerstörungsfreien Messung ist in Abb. 26 dargestellt. Diese Abläufe folgen auf die in Abb. 25 dargestellten wesentlichen Abläufe im Rahmen der Einschleusung.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

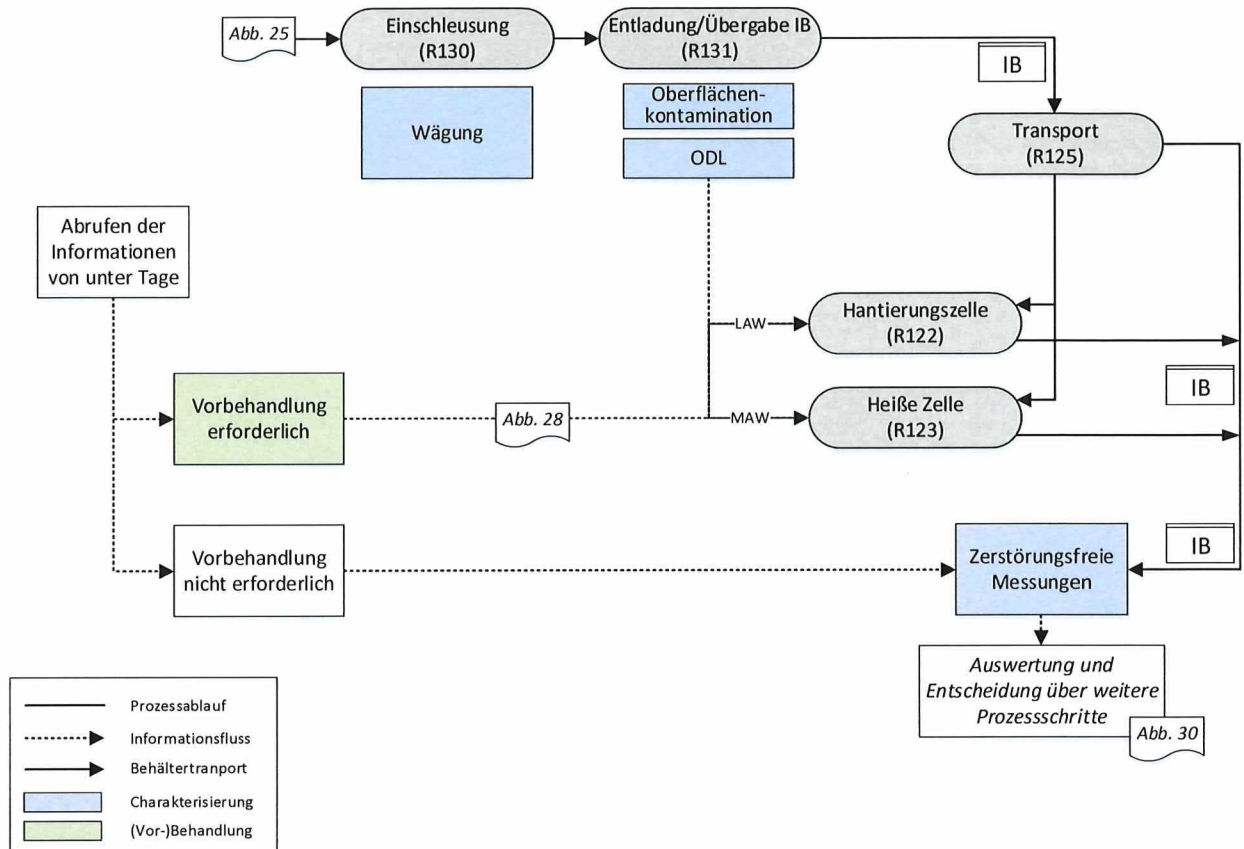


Abb. 26: Wesentliche Abläufe und Informationsflüsse von der Einschleusung bis zum Transport innerhalb der ABA.

## 8.2 Prozessschritt: Pufferlagerung

Die Pufferlagerung dient dazu, die Prozessabläufe innerhalb der Abfallbehandlungsanlage zu optimieren, indem insbesondere

- Auslastungsspitzen in den Mess- und Konditionierungseinrichtungen ausgeglichen,
- ein Stillstand der Anlagen aufgrund ausbleibender Materialströme vermieden,
- (teil-)charakterisierte Abfälle mit ähnlichen Eigenschaften zu neuen Chargen zusammengestellt und
- nicht konditionierte und zwischenlagerfähige Abfälle bis zur Konditionierung puffergelagert


werden können. In jedem Pufferlagerbereich erfolgt die Pufferlagerung der Innenbehälter in dafür geeigneten Umverpackungen.

Die Pufferlagerung umfasst somit mehrere Pufferlagerbereiche, welche im Hinblick auf die Optimierung der Handhabungs- und Transportlogistik in die Gesamtplanung der Abfallbehandlungsanlage und unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Fläche, integriert werden müssen.

In Abb. 27 wird eine mögliche Anordnung von Pufferlagerbereichen dargestellt, welche entsprechend der zuvor genannten Zwecke gewählt worden ist. Diese Darstellung ist maßstabsfrei, die optimale Anordnung und Flächenbelegung der einzelnen Bereiche ist für die gesamte Abfallbehandlungsanlage und das Zwischenlager im Rahmen der Entwurfsplanung abzustimmen und zu ermitteln.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

**Blatt: 168**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

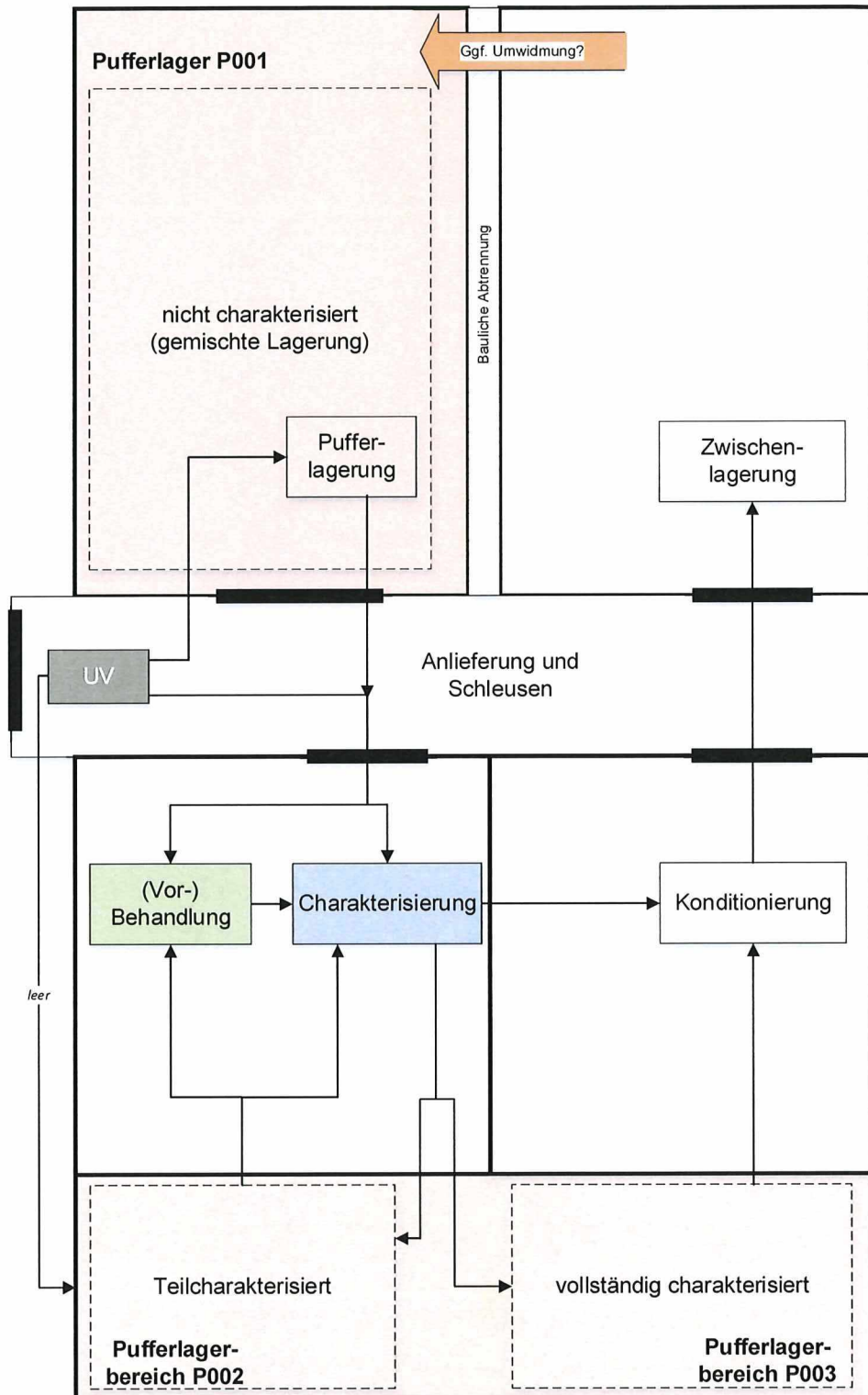


Abb. 27: Funktionale Anordnung der Pufferlagerbereiche.

### 8.3 Prozessschritt: (Vor-)Behandlung

Auf Basis der Informationen aus der Rückholung unter Tage kann bereits während der Einschleusung entschieden werden, ob eine Vorbehandlung zur Charakterisierung erforderlich und welches Verfahren hierfür geeignet ist. Die Notwendigkeit einer Behandlung kann sich zudem auch

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AAANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

auf Basis der Auswertung von Zwischenergebnissen der Charakterisierung ergeben. Sofern im Vorfeld der Charakterisierung Maßnahmen zur Behebung von Sicherheitsrisiken nötig sind (z. B. Druckentlastung, Umsortierung, Versiegelung und weitere Konditionierungsmaßnahmen), sind die IB der entsprechenden Vorbehandlungsstation direkt zu übergeben. In Abhängigkeit der gemessenen Dosisleistung an der Außenseite der IB, werden diese entweder zu der Heißen Zelle (R123) oder der Hantierungszelle (R122) transportiert und dort geöffnet (s. Abb. 28).

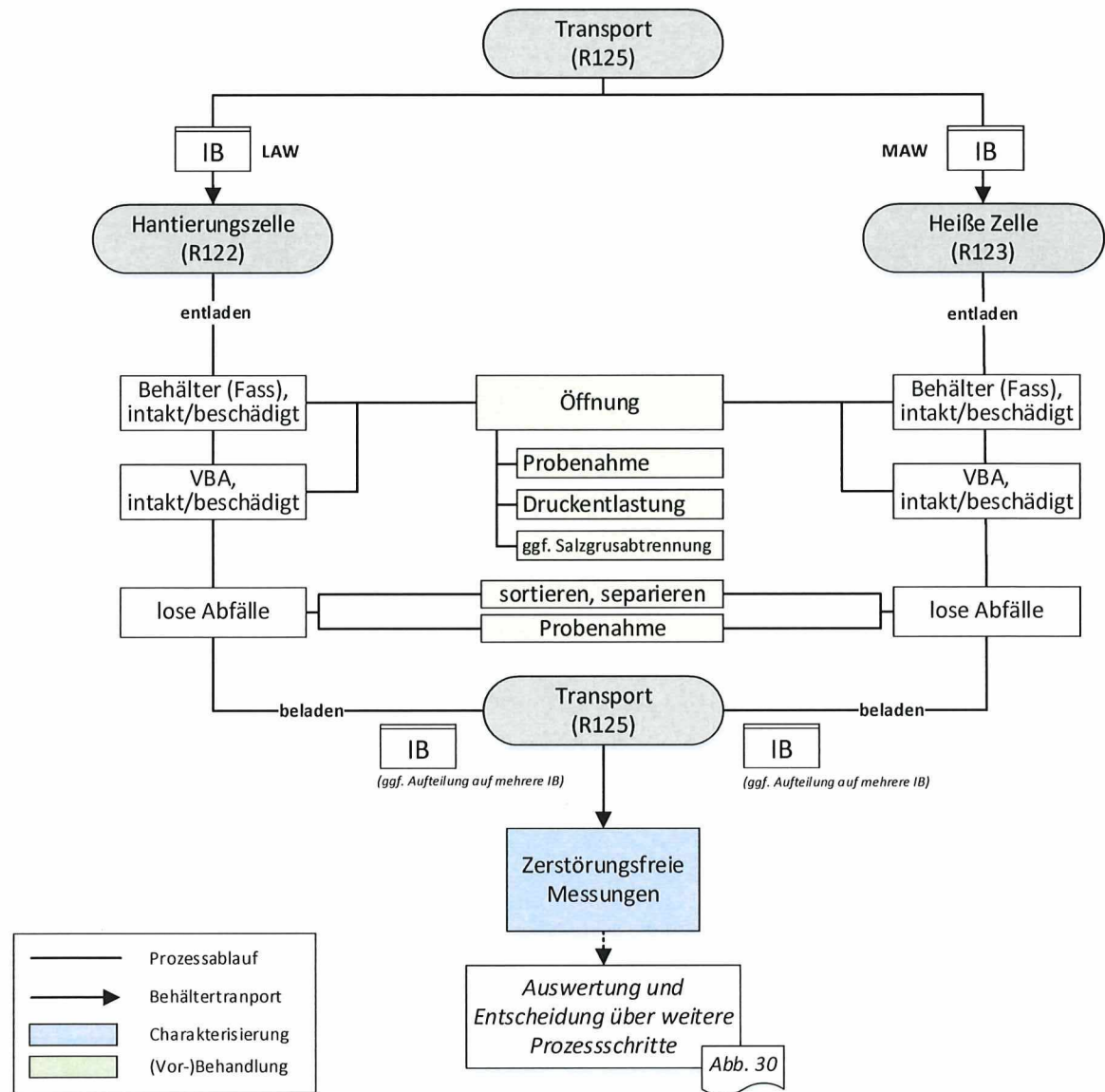



Abb. 28: Wesentliche Abläufe im Rahmen des Prozessschrittes Vorbehandlung.

**Intakte Behälter (Fässer)** sind idealerweise nicht vorzubehandeln. Eine Ausnahme können jedoch eine notwendige Druckentlastung als sicherheitstechnische Maßnahme oder das Entfernen von Salzgrusanhaftungen an der Außenseite des intakten Behälters sein, sofern dies aus messtechnischer Sicht vorteilhaft ist.

Weitere Maßnahmen zur Behandlung (z. B. Sortierung oder Öffnung zur Probenahme) werden für intakte Behälter erst nach der Auswertung der zerstörungsfreien Messungen (s. Kapitel 8.4) getroffen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 170
--	------------

**Intakte VBA** sollten aus Sicht des Strahlenschutzes weitestgehend nicht zerstört werden. Einer zerstörungsfreien Messung an einer intakten VBA steht allerdings die Abschirmwirkung der Behältermaterialien entgegen.

Insbesondere bei intakten VBA sollte sich die stoffliche Charakterisierung daher zu Beginn der Messkampagne zunächst auf zerstörungsfreie Messmethoden (sowie falls messtechnisch durchführbar der NAA) stützen. Sofern hierdurch keine verwertbaren Ergebnisse erzielt werden können, ist für die weiteren angelieferten VBA die Entnahme von Bohrkernen zur Probenahme und ggf. Endoskopie vorzusehen. Unter Abwägung von Aufwand und Nutzen ist zu entscheiden, ob dies für alle VBA durchgeführt werden sollte, oder ggf. unter Zugrundelegung konservativer Annahmen eine geeignete Konditionierungsmethode zu wählen ist. Bei der Auswertung und ggf. konservativer Annahmen unter Zuhilfenahme von Methoden zur Einzelfallbetrachtung (s. Kapitel 6.6) ist auch zu berücksichtigen, dass der Behälter der VBA bereits selbst eine Barriere darstellt, welche bei der Wahl der Konditionierungsmethode zusätzlich wirksam ist.

Falls die notwendigen Informationen zur Entscheidung des weiteren Umgangs mit einer VBA jedoch nicht auf diese Weise gewonnen werden können, kann in der Heißen Zelle (bei MAW) bzw. in der Hantierungszelle (bei LAW) eine relativ aufwändige fernhantierte Zerlegung (Entmantelung des Fasses oder komplette Auftrennung) durchgeführt werden. Auch dies ist zunächst nur für einzelne VBA durchzuführen und die Auswertung der Ergebnisse auch dahingehend zu verwenden, um für den Inhalt nachfolgender VBA aus gleichen ELK abdeckende Annahmen treffen zu können.

**Beschädigte Behälter** sind dann vorzubehandeln, wenn eine Druckentlastung innerer intakter Bereiche der rückgeholtten Abfallbehälter als sicherheitstechnische Maßnahme erforderlich ist.

Weitere Maßnahmen zur Behandlung (z. B. Sortierung oder Öffnung zur Probenahme) werden für beschädigte Behälter erst nach der Auswertung der zerstörungsfreien Messungen (s. Kapitel 8.4) getroffen.

**Zerstörte Behälter und unverpacktes, loses Material**, welches in IB angeliefert wird, kann vor den zerstörungsfreien Messungen sortiert werden, sofern dies für die weitere Charakterisierung von Vorteil ist (z. B. zur Identifikation und Separierung von einzelnen Bestandteilen mit lokal hoher Aktivität, sog. „Hot Spots“ mit Hilfe der in den Zellen installierten Gamma-Kameras über den Sortiertischen).

Der **Salzgrus** (auch der von intakten Gebinden entfernte Salzgrus) wird zunächst mechanisch gebrochen und homogenisiert und ggf. getrocknet. Inhalte einzelner IB werden hierfür dem Bereich der Konditionierung zugeführt, in welchem eine Brecheranlage (z. B. auch für Bauschutt und Beton) vorzusehen ist. Durch Siebe bzw. magnetische Abtrenner lassen sich metallische und größere Bruchstücke separieren. Diese werden in dafür vorgehaltene Innen- bzw. Messbehälter aufgegeben und ggf. sortiert, bevor sie den zerstörungsfreien Messungen zugeführt werden.

#### 8.4 Prozessschritt: Zerstörungsfreie Messungen

Die Durchführung der zerstörungsfreien Messungen in IB ist für alle festen und losen Abfallarten vorgesehen. Flüssige Abfälle sind entsprechend der Ausführungen in Kapitel 7.7 zu behandeln und zu beproben.


In Abhängigkeit von den anfallenden Massenströmen und somit vom erforderlichen Durchsatz kommen speziell für Salzgrus zwei Optionen zur Durchführung zerstörungsfreier Messungen in Frage:

##### Option 1:

Um große Massenströme von Salzgrus kontinuierlich abzufertigen, wird das ggf. zuvor im Prozessschritt Vorbehandlung (s. Kapitel 8.3) gebrochene und homogenisierte Material auf eine Förderbandmessenanlage aufgegeben. Hier wird der Salzgrus in virtuelle Portionen unterteilt und radiologisch in Echtzeit untersucht. Hierbei kommen die gleichen Verfahren zur Gamma- und Neutronmessung wie bei der Messung von IB zur Anwendung, insbesondere die In-situ-Gamma-spektrometrie. Entsprechend der Messergebnisse wird der



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 171
--	------------

Salzgrus in freigemessene Abfälle, schwachradioaktive Abfälle (LAW) und mittelradioaktive Abfälle (MAW) automatisch sortiert. Entsprechend der Charakterisierungsergebnisse und Einteilung in diese drei Kategorien erfolgt im Prozessschritt „Auswertung der Ergebnisse und Planung weiterer Messkampagnen“ (s. Kapitel 8.5) die weitere Entscheidung des Umgangs.

#### Option 2:

Geringere Mengen Salzgrus (bis zu 3 t/h) können diskontinuierlich in einem IB in einer Freimessanlage zerstörungsfrei gemessen werden. Eine zusätzliche Probenahme kann hier vorgesehen werden.

Um die Freisetzung von losem radioaktivem Material (insbesondere mit Alpha-Strahlern) durch Handhabungsprozesse so gering wie möglich zu halten, ist vorgesehen, die IB mit den Behältern, VBA und losem Material zunächst nicht zu öffnen, sondern soweit wie möglich zunächst über zerstörungsfreie Verfahren zu charakterisieren. Erst wenn eine Öffnung für die Charakterisierung als erforderlich angesehen wird, wird diese in dafür vorgesehen abgetrennten Bereichen fernhandelt durchgeführt (Prozessschritt (Vor-)Behandlung, s. Kapitel 8.2).

Sofern auf Basis der Vorinformationen keine direkte Zuführung zu Spezialmessstationen vorzusehen ist, werden die IB nach der Einschleusung und ggf. Vorbehandlung den Messstationen zur zerstörungsfreien Messung in folgender Reihenfolge zugeführt:

1. *Tomographische Messung* (R140 – R142)  
zur Ermittlung der Dichteverteilung und Identifikation von Abfallstrukturen und der Detektion von inneren Abschirmungen. Die Ergebnisse fließen in die Auslegung und Auswertung der zerstörungsfreien radiologischen (und ggf. stofflichen) Messverfahren sowie in die Probenahmeplanung mit ein.
2. *Radiologische Messung (Gammaskpektrometrie und Neutronmessung)* (R143 – R145)  
zur Bestimmung des Nuklidinventars und dem Gehalt spaltbarer Stoffe.  
Insbesondere wenn ein erhöhter Gehalt an spaltbaren Stoffen im betreffenden rückgeholten radioaktiven Abfall nachgewiesen wird, muss die weitere Vorgehensweise fallweise entschieden werden. Mögliche nächste Schritte wären beispielsweise die Beschränkung auf einzelne Behandlungs- und Konditionierungsverfahren oder die Separierung einzelner Anteile des betreffenden rückgeholten radioaktiven Abfalls.
3. *Stoffliche Charakterisierung mittels PGNAA/DGNAA im „Gebindemaßstab“:*  
Sofern die Entwicklung und Probeläufe dieser Messverfahren zur Bestimmung der Elementverteilung im rückgeholten Abfall die Anwendbarkeit auf diese Abfälle bestätigt, ist diese Spezialmessstation ebenfalls als Standardmessstation zur zerstörungsfreien stofflichen Charakterisierung vorzusehen (s. Kapitel 6.4.3.1).


### 8.5 Prozessschritt: Auswertung der Ergebnisse und Planung weiterer Messkampagnen

Die Auswertung selbst wird, soweit möglich, technisch unterstützt und (teil-)automatisiert, muss aber jederzeit von qualifizierten Experten begleitet und durchgeführt werden, welche die Daten entsprechend beurteilen und Entscheidungen über die nötigen weiteren Prozessschritte treffen können.

Alle bislang vorliegenden Daten über die ggf. vorbehandelten und zerstörungsfrei gemessenen rückgeholten radioaktiven Abfälle werden in diesem Schritt zunächst ausgewertet:

- Anhand der ermittelten Dichteunterschiede hinsichtlich des Aufbaus der inneren Struktur können Homogenität/Heterogenität bestimmt werden, sowie eine Aussage über Materialzusammensetzung und Abfalltyp getroffen werden, sofern die Daten entsprechend aussagekräftig sind.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 172
---	------------

- Soweit möglich, können die zu ermittelnden strukturellen/stofflichen Messgrößen aus den vorliegenden Daten ermittelt werden. Andernfalls ist zu entscheiden, wo zusätzliche Maßnahmen sowohl zu deren Charakterisierung, als auch zur Konditionierung notwendig sind.
- Informationen über die innere Struktur dienen der Bewertung und Modellierung der Abschirmeffekte in den IB. Unter deren Zuhilfenahme werden die aus der Gammaskopimetrie ermittelbaren Nuklidaktivitäten, sowie aus den Neutronmessungen ermittelbaren Daten über spaltbare Stoffgehalte bestimmt.

Die Wechselwirkung der Ergebnisanwendung auf die jeweiligen zerstörungsfreien Messmethoden ist in Abb. 29 dargestellt. Insbesondere die Ergebnisse zur Dichte und Strukturverteilung sind der radiologischen (und sofern anwendbar der stofflichen) Charakterisierung zugrunde zu legen, um sowohl die Planung der Messung als auch eine gezieltere Auswertung der Ergebnisse durchführen zu können.

Die Messergebnisse dienen somit als Entscheidungsgrundlage sowohl für die Auslegung der weiteren zerstörungsfreien Messungen als auch für die nächsten Prozessschritte (z. B. Erfordernis einer Probenahme).

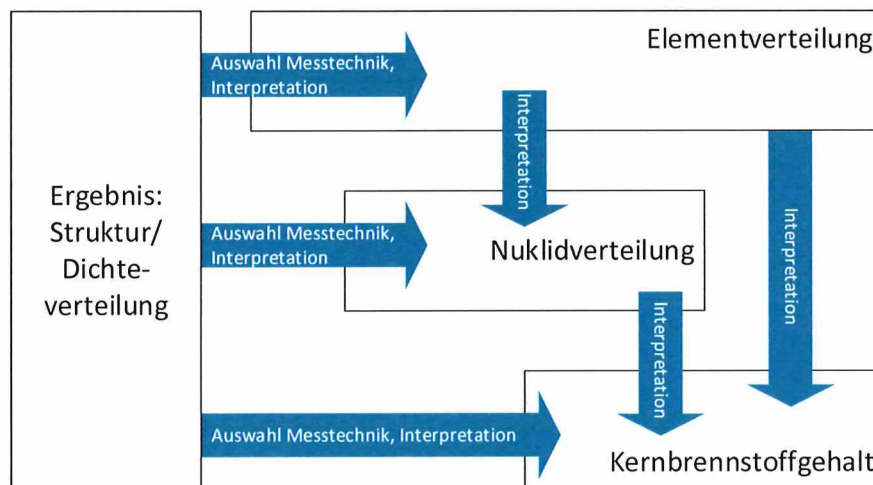



Abb. 29: Auswahl und Interpretation der jeweiligen zerstörungsfreien Messmethoden auf Basis der Struktur-/Dichteverteilung.

Zusätzlich sollte die Interpretation und Auswertung auch unter Berücksichtigung der Angaben in der Datenbank ASSEKAT erfolgen. Dies erfordert zunächst eine Analyse der in der ASSEKAT vorhandenen Datensätze, mit dem Ziel, Abfälle mit ähnlichen Eigenschaften unter Einbeziehung der Angaben zu Abfall- und Behälterarten, Ablieferern sowie Nuklidvektoren bzw. typischen Nuklidzusammensetzungen zu gruppieren und diese Muster auch auf die Messergebnisse anzuwenden. Hierdurch können ggf. Messergebnisse gezielter interpretiert und daraus zusätzliche Erkenntnisse gewonnen werden.

Weitere, nutzbare Informationen (z. B. bekannte Nuklidvektoren, Laborergebnisse statistisch vergleichbarer Abfälle) sowie Rückschlüsse aus schätzenden Verfahren (s. Kapitel 6.6) werden ebenfalls mit den Daten kombiniert, um eine größtmögliche Ausschöpfung der vorhandenen Daten und eine Übersicht über die noch fehlenden Messgrößen zu erreichen. Sofern hinreichend begründbar, kann diese Vorgehensweise der Auswertung bereits für einige Materialströme des rückgeholt Abfalls dazu beitragen, dass die Durchführung weiterer, detaillierterer Messschritte nicht mehr notwendig ist.

Aufgrund der aktuellen Kenntnisse zu den Eigenschaften der rückzuholenden Abfälle ist zu erwarten, dass insbesondere Abfälle von gleichen Ablieferern ähnliche Eigenschaften hinsichtlich Struktur und stofflicher Zusammensetzung aufweisen können. Im Hinblick auf eine Erhöhung des

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AAANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 173
--	------------

Durchsatzes bei gleichzeitiger Einsparung an Strahlenbelastung für das Personal, sind daher anhand der Messergebnisse Abfälle mit ähnlichen strukturellen und/oder stofflichen Eigenschaften Clustern (d. h. neuen Chargen) zuzuordnen. Die Anzahl der Proben verringert sich dementsprechend, wenn für diese Cluster repräsentative Proben aus einzelnen Abfalleinheiten in den IB entnommen werden können (s. Kapitel 8.6).

Die Auswertung kann somit zu folgenden und in Abb. 30 dargestellten Ergebnissen kommen, welche die Entscheidungsgrundlage für die weiteren Charakterisierungsschritte bilden oder bereits eine Abschlussdokumentation und Anwendung des entsprechenden Entsorgungszieles (s. Kapitel 3.3.6) ermöglicht:

Auf Basis der Gesamtbetrachtung der bereits vorliegenden Informationen (ASSEKAT, Bergung, zerstörungsfreie Messungen, schätzende Verfahren) kann die Auswertung ergeben,

- Option 1: dass die Charakterisierung ausreichend und die Ergebnisse belastbar sind (z. B. bei homogen zusammengesetzten Abfällen)
- Option 2: die Charakterisierung nicht ausreichend ist und weitere Untersuchungen erforderlich sind.

Sofern die Charakterisierung ausreichend ist, wird der Abfall dem entsprechenden Entsorgungsziel zugeführt.

Ist die Charakterisierung nicht vollständig, kann dies im Wesentlichen zwei Ursachen und damit verbunden entsprechend unterschiedliche Möglichkeiten zur Clusterbildung haben:

Ursache 1: Die strukturelle Charakterisierung ist belastbar, die stoffliche oder radiologische Charakterisierung jedoch nicht (z. B. bei heterogen zusammengesetzten Abfällen oder einem hohen Anteil an schwer messbaren Nukliden).

Möglichkeit 1.1: Auf Basis der vorliegenden Informationen zur Art und Struktur der Abfälle ist eine Clusterbildung bzw. Zuordnung zu einem Cluster möglich. Das Cluster wird zu einer neuen Charge zusammengestellt, von welcher einzelne Gebinde für eine repräsentative Probenahme ausgewählt werden können.

Möglichkeit 1.2: Auf Basis der vorliegenden Informationen zur Art und Struktur der Abfälle ist keine Clusterbildung bzw. Zuordnung zu einem Cluster möglich. Der entsprechende IB ist entweder

- den Spezialmessstationen (s. Kapitel 7.5) zuzuführen,
- zu öffnen und der Abfall zu beproben und ggf. zu sortieren.

Ursache 2: Die Ergebnisse der strukturellen, stofflichen und radiologischen Charakterisierung sind nicht belastbar (z. B. bei heterogen zusammengesetzten Abfällen mit starker Abschirmung).

Möglichkeit 2.1: Auf Basis der vorliegenden Informationen zur Art und Struktur der Abfälle ist keine Clusterbildung bzw. Zuordnung zu einem Cluster möglich. Der entsprechende IB ist entweder

- den Spezialmessstationen (s. Kapitel 7.5) zuzuführen,
- zu öffnen und der Abfall zu beproben und ggf. zu sortieren

Möglichkeit 2.2: Auf Basis der vorliegenden Dokumentation oder schätzender Verfahren insbesondere für schwer messbare Nuklide sind konservative Annahmen hinsichtlich der Abfallzusammensetzung möglich. Die höheren Kosten hinsichtlich der Konditionierung sowie die ggf. höheren Abfallmengen durch gezielte Überschätzung des radiologischen



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Inventars sind dabei den Einsparungen an Exposition, Analysekosten und -dauern gegenüberzustellen (s. Kapitel 4.4.2).

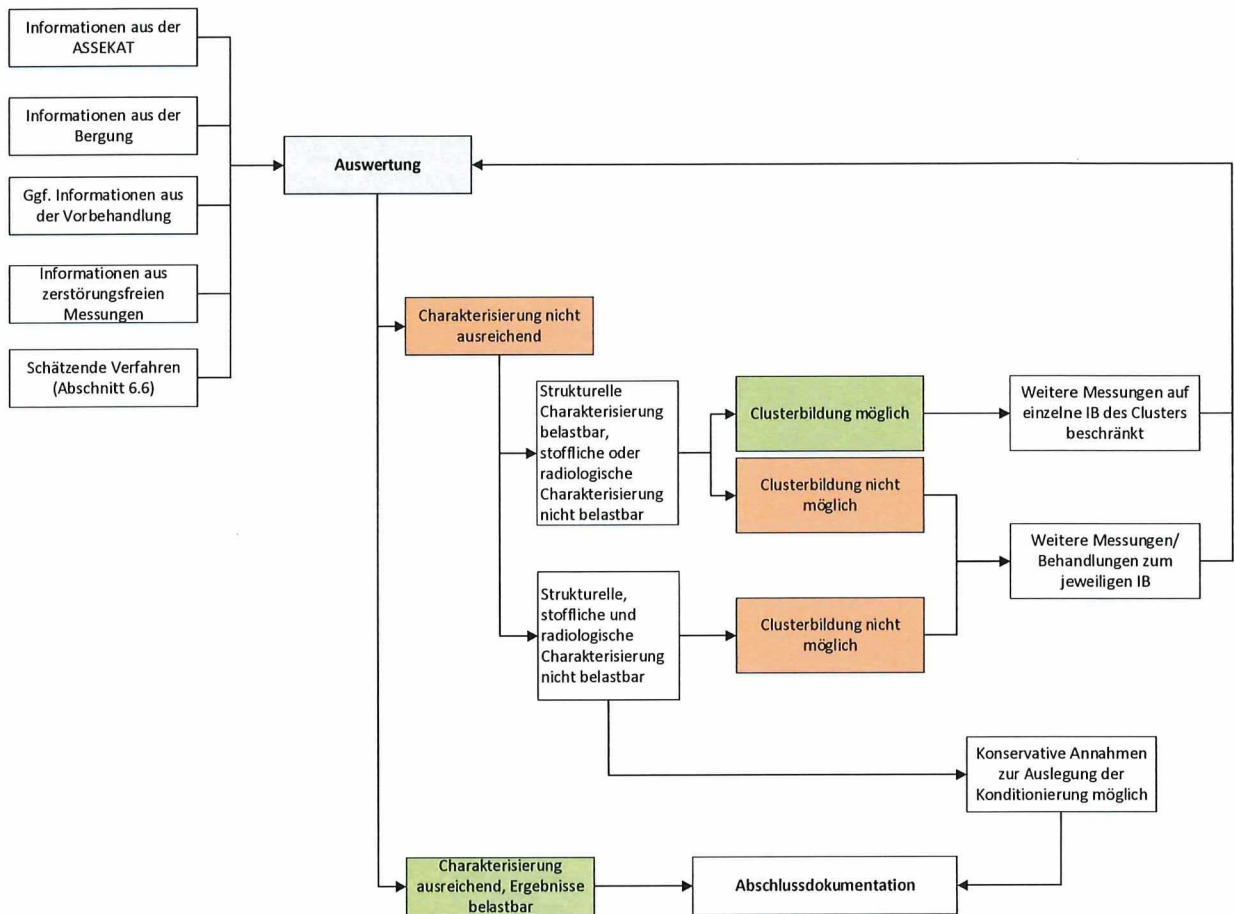


Abb. 30: Prozessschritt Auswertung der Ergebnisse und Planung weiterer Messkampagnen.

Bis zu einer ersten Auswertung und - darauf basierend - einer Entscheidung des weiteren Umgangs mit den rückgeholten Abfällen, sind diese im Pufferlagerbereich P002 in geeigneten Umverpackungen zwischenzulagern. Die Auffindbarkeit dieser Abfälle wird durch die eindeutige Kennung der IB und UV am jeweiligen Pufferlagerstandort jederzeit gewährleistet.

### 8.6 Prozessschritt: Probenahme


Ein optimierter Gesamtablauf des Charakterisierungsprozesses erfordert die Erstellung einer individuellen Probenahmestrategie, um effizient und so vollständig wie notwendig die rückgeholten Abfälle, die betrieblichen Abfälle und den Salzgrus zu beproben. Die Probenahme zur radiologischen und stofflichen Charakterisierung von radioaktiven Abfällen ist dabei mit dem Ziel des weiteren Umgangs abzustimmen. Dies kann eine Freigabe, ggf. die Wiederverwendung innerhalb der Anlage oder die Konditionierung sein.

Die Probenahme kann, in Abhängigkeit der tatsächlich vorliegenden Abfalleigenschaften, der Ergebnisse der zerstörungsfreien Messungen und der Methoden zur Einzelfallentscheidung sowohl für den Inhalt einzelner IB zur individuellen Beprobung und Charakterisierung, als auch zur Charakterisierung eines Clusters durchgeführt werden (s. Kapitel 8.5).

Eine Probenahme sollte somit fallweise dann erfolgen, wenn

- zerstörungsfreie Messungen zur Charakterisierung von einzelnen IB oder Erstellung von Clustern keine ausreichenden Ergebnisse liefern können und/oder auch ein Abgleich mit der Datenbank ASSEKAT nicht möglich ist oder keine ausreichenden Ergebnisse liefert,

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BGE**  
 BUNDESGESELLSCHAFT  
 FÜR ENDLAGERUNG

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 175
--	------------

- aus den rückgeholten Abfällen auf Basis der zerstörungsfreien Messungen Abfälle mit ähnlichen Eigenschaften zusammengestellt (Clusterbildung) und diese repräsentativ beprobt werden können,
- im Hinblick auf die Wahl des geeigneten Entsorgungszieles (Freigabe, Wiederverwendung oder Konditionierung) und den Umfang der Konditionierung nur mittels Probenahme entscheidungsrelevante Ergebnisse geliefert werden können.

Im Vorfeld der Probenahme sind die aus den Sichtprüfungen unter Tage dokumentierten und im Rahmen der Charakterisierung ermittelten Daten auszuwerten. Im Hinblick auf die radiologische Charakterisierung sind dies insbesondere

- Dosisleistungsmessungen,
- zerstörungsfreie Aktivitätsmessungen,
- Angaben aus der Datenbank ASSEKAT sowie
- ggf. Kontaminationsmessungen (an Behältern bei Ausschleusung/an Übergabepunkten).

Angaben zu stofflichen Daten sind derzeit in der ASSEKAT 8 [55] zusammengestellt. Diese Daten sollen jedoch im Auftrag der BGE noch überarbeitet und aktualisiert werden. Aus den Angaben zu stofflichen Daten können verwendete Materialien mit bekannter Zusammensetzung extrahiert werden (z. B. Behältermaterialien) sowie Bandbreiten der stofflichen Zusammensetzung (vgl. Kapitel 2.2) den Ergebnissen der zerstörungsfreien Analyse zu Dichte und Struktur zugeordnet werden.

Die Sichtung der bereits vorhandenen Daten in der ASSEKAT 8 liefert jedoch nicht alle erforderlichen Daten zur stofflichen und radiologischen Charakterisierung. Diese Daten können jedoch im Rahmen der Auswertung berücksichtigt werden und ggf. als Grundlage und Ausgangszustand für die Erstellung der Probenahmepläne (s. Kapitel 4.4) zur Vervollständigung der radiologischen und stofflichen Charakterisierung dienen.

In Abhängigkeit von der Materialart (s. nachfolgende Kapitel 8.6.1 bis 8.6.3) sowie den Anforderungen aus dem Probenahmeplan (s. Kapitel 4.4) werden die Proben entnommen und in das interne Labor verbracht oder an externe Labore verschickt.

Die Art und der Umfang der Analyse richten sich dabei nach den fehlenden Informationen zur vollständigen Charakterisierung und Festlegung des geeigneten Entsorgungsziels (s. Kapitel 3.3.6).

### 8.6.1 Beprobung von festen Abfällen

Die Art der Probenahme an festen rückgeholten Abfällen erfordert eine fallweise Abwägung in Abhängigkeit der Abfalleigenschaften und den bereits vorliegenden Ergebnissen aus den vorangehenden zerstörungsfreien Messungen. Je mehr Kenntnisse hierzu vorliegen, desto gezielter können die Probenahmeorte sowie die Probendichte und -menge ausgewählt werden, um repräsentative Ergebnisse erzielen zu können.

Das in Abb. 31 dargestellte Entscheidungsschema kann zur Beurteilung der Notwendigkeit einer Probenahme von festen Abfällen auf Basis der Ergebnisse der zerstörungsfreien Messungen und Hinzuziehung der Angaben in der ASSEKAT herangezogen werden.



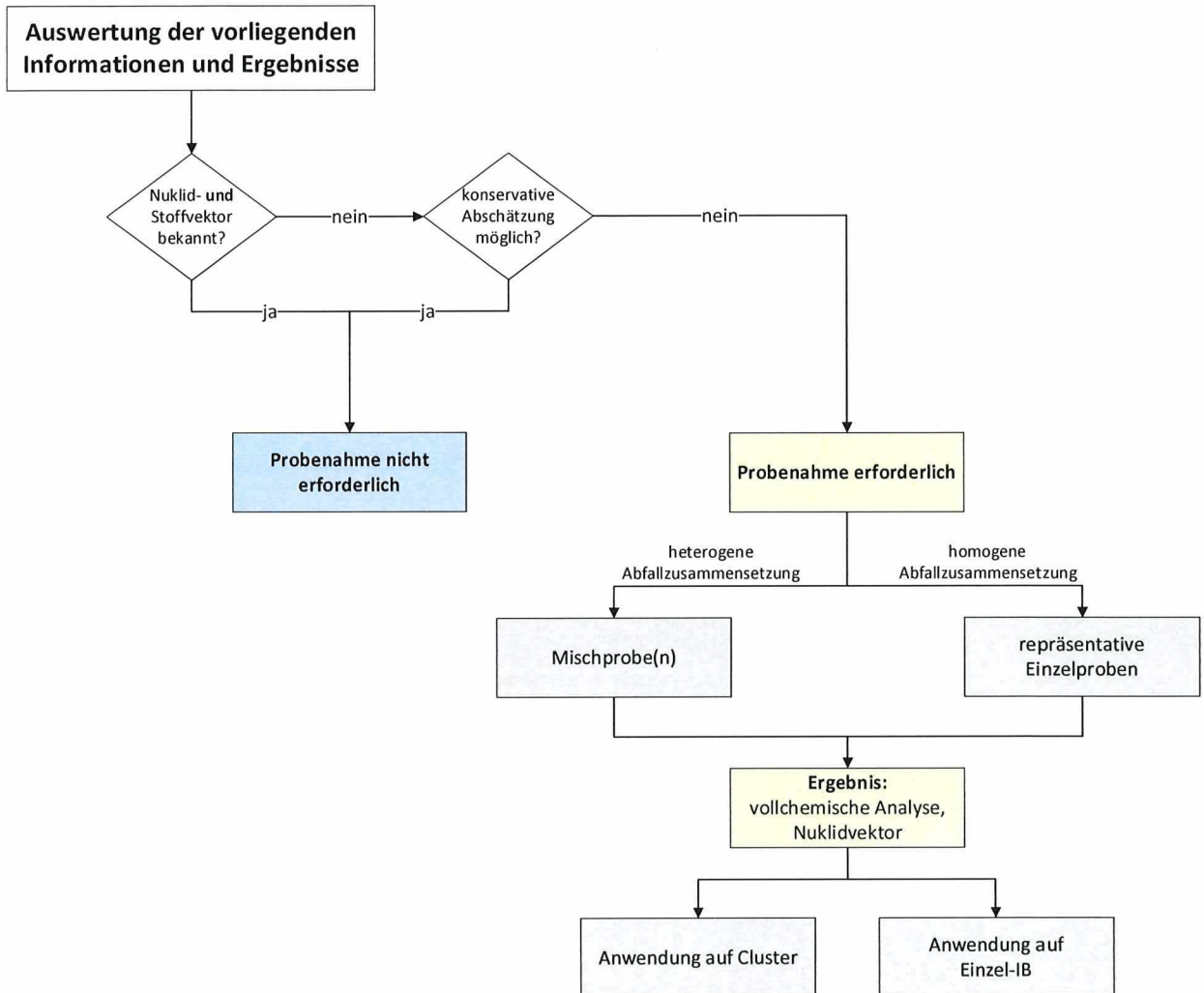


Abb. 31: Prozessschritt und Entscheidungsschema zu der Probenahme intakter/beschädigter Behälter.

### 8.6.1.1 Behälter (intakt/beschädigt)


Für intakte bzw. beschädigte Behälter kann das in Abb. 31 dargestellte Entscheidungsschema zur Beurteilung der Notwendigkeit einer Probenahme herangezogen werden.

Intakte oder beschädigte Behälter, an welchen entweder im Einzelfall oder im Rahmen der repräsentativen Beprobung eines Clusters Materialproben entnommen werden müssen, sind mit Hilfe eines Bohrkernverfahrens zu beproben. Da im Rahmen der Probenahme mit einer Staubeentwicklung zu rechnen ist, hat diese innerhalb abgeschirmter Bereiche (z. B. Hantierungszellen, s. Kapitel 7.4) zu erfolgen.

In Verbindung mit den Informationen zur Heterogenität der Abfallzusammensetzung wird die Anzahl der Proben festgelegt. Die Vorzugsvariante der Probenahme sowie mögliche Rückfalloptionen sind in Tab. 52 aufgeführt.

Tab. 52: Vorzugsvariante der Probenahme sowie mögliche Rückfalloptionen für intakte/beschädigte Behälter.

	Vorzugsvariante	Rückfalloption 1	Rückfalloption 2
Behälter (intakt/beschädigt)	7 Bohrproben (je nach Konsistenz mit Probenstecher, Hohlbohrer oder Bohrkern mit kleinem Durchmesser), die Probensammlung erfolgt über ein Zyklon	Händische Demontage und Sortieren, Probenahme mit Handwerkzeug	Zerteilen über Bandsäge, fernhantierte Probenahme mit Manipulatorwerkzeug inkl. Hohlbohrer

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 177

Die Anzahl der Bohrproben beträgt für zylindrische Behälter im Mittel 7, welche radialsymmetrisch sowie im Mittelpunkt des Behälters entnommen werden, sofern die zerstörungsfreien Messungen keine höhere Zahl erforderlich machen.

### 8.6.1.2 Zerstörte Behälter, loses Material, Salzgrus

Bei der Bergung der Abfälle werden erhebliche Mengen an Salzgrus anfallen, welcher aufgrund des Austretens von radioaktivem Material aus beschädigten bzw. zerstörten Behälter radiologisch kontaminiert sein kann. Salzgrus, welcher die Freigabewerte überschreitet, kann dem Freigabemessprozess zugeführt werden (siehe Kapitel 3.3.6.1). Je nach Beschaffenheit des Materials und je nach Wahl der Behandlungsschritte, die vor der Abtrennung des freigabefähigen Anteils durchgeführt wurden, kann entweder die Messung der radiologischen Charakterisierung als Grundlage für die Entscheidung zur Freigabe dienen, oder es muss noch eine Entscheidungsmessung durchgeführt werden, wobei sich die hierbei einzusetzenden Messverfahren nach dem Nuklidgemisch richten.

Salzgrus, welcher die Freigabewerte überschreitet, ist der Konditionierung zu übergeben.

Zerstörte Behälter, mit freigelegtem Abfallmaterial sowie sonstiges loses Abfallmaterial, welches von unter Tage in Innenbehältern angeliefert wird, wird – ggf. nach vorheriger Sortierung oder Separierung – zunächst zerstörungsfrei gemessen. Ist aufgrund ähnlicher Abfalleigenschaften sowie der Ergebnisse der zerstörungsfreien Charakterisierung eine Clusterbildung möglich (s. Abb. 31), richtet sich die Anzahl der Proben nach der Größe des Clusters. Ist keine Clusterbildung möglich, wird das lose Material durch die Entnahme von mehreren Einzelproben und Bildung von Mischproben beprobt [25].

Die Vorzugsvariante der Probenahme sowie eine mögliche Rückfalloption sind in Tab. 53 aufgeführt.

Tab. 53: Vorzugsvariante der Probenahme sowie mögliche Rückfalloption für zerstörte Behälter, loses Material und Salzgrus.

	Vorzugsvariante	Rückfalloption 1
loses Material (Salzgrus, zerstörte Gebinde)	Entnahme eines Teilstromes	Brechen/mahlen, Entnahme eines Teilstromes bei Austrag

Die Abschätzung der Mindestanzahl von Einzel-, Misch- und Laborproben kann in Anlehnung an die „Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen“ (LAGA PN 98) [25] erfolgen (s. Tab. 54).

Tab. 54: Mindestanzahl an Proben je Prüfvolumen gem. [25] für loses Material.

Prüfvolumen [m³]	Mindestanzahl Einzelproben	Mindestanzahl Mischproben	Mindestanzahl Laborproben
30	8	2	2
60	12	3	3
100	16	4	4
150	20	5	5
200	24	6	6


Hierbei ist jedoch zu unterscheiden, ob es sich um freigemessenes oder nicht freigemessenes Material handelt. Erfahrungswerte aus der Freimessung von Bodenaushub liegen hierbei bei einem 200-l-Fass Prüfvolumen pro 20 t nicht freigemessenen Materials.

### 8.6.1.3 Verlorene Betonabschirmungen

Eine Beprobung mittels vorheriger Entnahme von Bohrkernen über größere Gebindeabschnitte ist insbesondere für die Beprobung von VBA vorzusehen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AA>NNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 178
--	------------

Sofern der zu beprobende rückgeholte Abfall eine hohe Dosisleistung aufweist, erfolgt die Gewinnung, Fraktionierung und Verpackung des Probenmaterials fernhantiert.

Mittels Kernbohrer kann ein Bohrkern über den gesamten Behälterquerschnitt gewonnen werden, um Anteile vom Behälter- des Konditionierungs- und dem Abfallmaterial zu erhalten. Die einzelnen Fraktionen des Bohrkerns werden voneinander getrennt untersucht.

Sofern erforderlich, kann das entstandene Bohrloch für eine weitere Untersuchung des Abfallgebindes mittels Endoskop oder anderen einführbaren Messsonden genutzt werden.

Die Vorzugsvariante der Probenahme sowie mögliche Rückfalloptionen sind analog zu Tab. 52 festzulegen.

### 8.6.2 Beprobung von Flüssigkeiten

Flüssige Abfälle, welche beprobt werden müssen, können aus den folgenden Materialströmen resultieren:

- kontaminierte Salzlösungen aus dem Rückholbetrieb unter Tage,
- rückgeholte Abfälle, welche Wasser oder organische Flüssigkeiten wie Öle oder Lösemittel enthalten,
- rückgeholte Abfälle, welche chemisch nicht inert sind und somit durch chemische Reaktionen Flüssigkeiten bilden konnten,
- Prozess- und Abwässer aus dem Betrieb der Abfallbehandlungsanlage, wie beispielsweise
  - Kondensate aus der technischen Trocknung der rückgeholten Abfälle und der Salzaufbereitung,
  - Abwässer aus der Reinigung und Spülung der Betonieranlagen,
  - Betriebsabwässer aus dem Kontrollbereich, einschließlich Handwaschbecken, Bodenabläufe, Sicherheitsduschen,
  - Löschwässer im Falle eines Brandes.

Der Hauptanteil der zu beprobenden Flüssigkeiten wird aus dem Betrieb der Abfallbehandlungsanlage anfallen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass ein geringer Anteil der rückgeholten Abfälle entgegen der damaligen Einlagerungsgenehmigungen und Annahmebedingungen auch Flüssigkeiten enthält. Sofern die rückgeholten Abfälle eine hohe Dosisleistung aufweisen, erfolgt die Entnahme der Proben fernhantiert.

Um repräsentative Messwerte für die Aktivitätsverteilung in Flüssigkeiten zu erzielen, ist darauf zu achten, dass diese vor der Probenahme ausreichend homogenisiert werden.

Je nach Feststoffanteil erfolgt zunächst eine Phasentrennung in flüssige und feste Bestandteile. Hierzu können eine Fällung und Sedimentation oder Verdampfung durchgeführt werden. Die festen Rückstände werden gefiltert und radiochemisch analysiert. Sofern die Aktivitätsgrenzwerte unterschritten werden, können diese Rückstände freigegeben werden. Andernfalls muss das Material geeignet konditioniert (z. B. mechanisch stabilisiert und ggf. zementiert) und dann in das Zwischenlager verbracht werden.

Reine Flüssigkeitsanteile können, nach Sicherstellung einer ausreichenden Homogenisierung, hinsichtlich ihrer chemischen und radiologischen Zusammensetzung analysiert werden.


Schwachradioaktive Flüssigkeiten können entweder wiederverwendet werden (nach Anpassung der chemischen Eigenschaften z. B. im Rahmen der Zementproduktion in der Konditionierung) oder gemäß den Vorgaben der Genehmigung abgeleitet werden.

Sofern mittelradioaktive Flüssigkeiten anfallen, müssen hier zunächst Radionuklide durch Ionenaustausch und/oder Filtermembranen selektiv filtriert werden und können dann wie schwachradioaktive Flüssigkeiten behandelt und abgeleitet oder als Zusatz zur Betonherstellung wiederverwendet werden. Das hierbei anfallende Filtermaterial wird als radioaktiver Abfall für die Zwischenlagerung deklariert.

### 8.6.3 Beprobung der Gasphase

Die Beprobung der Gasphase ist insbesondere dann erforderlich, wenn intakte Behälter vorliegen, welche druckentlastet werden müssen. Aber auch beschädigte rückgeholte Behälter, deren Abfälle

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 179
---	------------

konditioniert worden sind, können im Inneren abgeschlossene Bereiche aufweisen, in welchen eine Gasbildung stattgefunden hat. In Abhängigkeit von der bevorzugten Konditionierungsmethode sind diese Bereiche daher ebenfalls zu druckentlasten und die Gasphase ist zu beproben.

Liegen Informationen aus den zerstörungsfreien Messungen zur inneren Struktur des rückgeholten Gebindes vor, können hieraus geeignete Probenahmeorte (vorzugsweise Hohlräume) abgeleitet werden.

### 8.7 Prozessschritt: Gesamtauswertung und Export

Auch die Gesamtauswertung wird soweit möglich technisch unterstützt und (teil-)automatisiert durchgeführt, muss aber jederzeit von qualifizierten Experten begleitet werden, welche die Daten entsprechend beurteilen und auswerten können.

Die Ergebnisse der Zwischenauswertungen nach jedem der durchgeführten Prozessschritte werden zusammengeführt und es wird abschließend geprüft, welche Charakterisierungsmessungen oder Maßnahmen noch zu treffen sind, um alle Charakterisierungsgrößen hinreichend genau zu bestimmen (vgl. Abb. 30). Bis zum Abschluss der Gesamtauswertung werden die charakterisierten Abfälle in geeigneten Umverpackungen in den Pufferlagerbereich P003 verbracht.

Bei der Auswertung der Informationen sind insbesondere Auswertemethoden basierend auf künstlicher Intelligenz heranzuziehen, welche es ermöglichen, große und komplexe Datensätze strukturiert, zeiteffizient und wenig fehleranfällig auszuwerten. Die Ergebnisse der Auswertungen können wiederum dafür herangezogen werden, strukturelle oder radiologische/stoffliche Muster in den eingelagerten Abfällen zu erkennen (insbesondere in Abfällen aus einer ELK). Diese Muster könnten im Rahmen der Auswertung nachfolgender Abfallmaterialien zu einem besseren Verständnis zur Art und Zusammensetzung des jeweils zu charakterisierenden Abfallmaterials beitragen und somit ggf. die Anzahl oder den Umfang der weiteren Messkampagnen reduzieren. Insbesondere folgende Aspekte sind im Hinblick auf den Zeitbedarf einer vollständig vorliegenden Auswertung (und damit Pufferlagerzeit) zu berücksichtigen:

- die Laborauswertung, welche für bestimmte Messgrößen einer längeren Analysezeit bedarf und deren Ergebnisse ggf. noch nicht in die Gesamtauswertung eingeflossen sind oder
- diejenigen Informationen, die im Zusammenhang einer noch nicht abgeschlossenen Clusterbildung mit anderen Gebinden erfolgen sollen und daher noch nicht vorliegen bzw. finalisiert werden können.

Mit dem Vorliegen auch dieser Ergebnisse werden im letzten Auswertungsschritt alle verfügbaren Daten und Auswertungen im Gesamtzusammenhang gesichtet und geprüft. Dort wo noch Daten einzubeziehen bzw. erneut auszuwerten sind (insbesondere unter Kombination mit neu hinzugekommenen Daten), erfolgt die Gesamtauswertung und der Export zu dem jeweiligen Entsorgungsziel.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 180

## 9 Empfehlungen für die nächsten Planungsschritte

Auf Basis der Konzepterstellung werden die folgenden Empfehlungen die nächsten Planungsschritte identifiziert:

### a) Anpassung der Sicherheitsanforderungen an die Gesamtplanung der Abfallbehandlungsanlage

Die zu berücksichtigenden sicherheitstechnischen Anforderungen und zu führenden Nachweise sind eng mit der baulichen Ausführung verzahnt und werden im Rahmen dieser Konzeptplanung daher nur grundlegend für die Charakterisierungsanlage beschrieben. Die nächsten Schritte der Entwurfs- und Genehmigungsplanung müssen die hier beschriebenen Aspekte aufgreifen und im Hinblick auf die Gesamtplanung der Abfallbehandlungsanlage vervollständigen. Hierbei sind die unterschiedlichen Arten des Umgangs sowie potenziell unterschiedliche Freisetzungsmöglichkeiten zu berücksichtigen und zu bewerten. Eine abdeckende Aktivitätsabschätzung bildet eine wesentliche Grundlage der erforderlichen Nachweisführung. Diese sollte zusammen mit der baulichen Ausführung und der Aufenthaltsdauer des Personals getrennt für die jeweiligen Bereiche zum Umgang mit den rückgeholt radioaktiven Abfällen erfolgen.

### b) Harmonisierung der gesamten Anlagenplanung (Logistik)

Die im Rahmen dieser Konzeptplanung beschriebenen Verfahren beschränken sich auf die Charakterisierung und ggf. hierfür erforderliche Vorbehandlung. Die Wahl der Messtechnik, Auslegung der Messbereiche und Logistik ist somit an die verfügbare Gesamtfläche sowie den Platzbedarf der Konditionierungseinrichtung und das Pufferlager anzupassen. Hieraus ergibt sich ein Optimierungsprozess der Planung (Auslegung, Durchsatz, logistische Abläufe) für die Abfallbehandlungsanlage mit dem Ziel einer bestmöglichen Ausnutzung der begrenzt verfügbaren Fläche. Für die Charakterisierungsanlage wurde daher bereits in der Konzeptplanung eine Mehrstöckigkeit vorgesehen, die neben dem begrenzt verfügbaren Platz auch die Abgrenzung von Mess- bzw. Anlagenbereichen mit unterschiedlichen Anforderungen an Bauweise und Strahlenschutzmaßnahmen berücksichtigt. Eine ähnliche Vorgehensweise ist auch für die weitere Planung der Konditionierungsbereiche vorzusehen, welche sich auf Basis der vorgeschlagenen räumlichen Anordnung logistisch optimiert in die Abläufe innerhalb der Gesamtanlage integrieren lässt.

Hierbei sollten auch Erfahrungen aus ähnlichen Anlagen zur Abfallbehandlung herangezogen werden, um frühzeitig potenzielle Konflikte in den zu planenden Abläufen zu identifizieren.

### c) Schnittstelle zur Bergetechnik – Optimierung

Einige Messgrößen (z. B. Gewicht, ODL<sup>8</sup>, visuelle Prüfung, Probenahme, Druckentlastung etc.) sollen nach aktuellem Planungsstand zumindest teilweise bereits bei der Bergung unter Tage erhoben werden.

Diese Informationen können für die Planung der erforderlichen übertägigen Vorbehandlungs- und Charakterisierungsschritte herangezogen werden. Die Erhebung dieser Daten hat daher eine deutliche Steigerung der Effizienz der Abläufe in der Abfallbehandlungsanlage zur Folge, da vorab bereits Entscheidungen hinsichtlich der anzuwendenden Messverfahren und notwendigen Vorbehandlung auf Basis der Sichtprüfung oder Probenahme ermöglicht werden.


### d) Überarbeitung der ASSEKAT als Datengrundlage

Die Datenbank ASSEKAT enthält zahlreiche Informationen zu Herkunft, Kennzeichnung, Zusammensetzung etc., welche im Vorfeld der Charakterisierung hinsichtlich ihrer weiteren

<sup>8</sup> Es ist aus Strahlenschutzgründen immer erforderlich die ODL im Rahmen der Eingangskontrolle nachzumessen, da nach längeren Lagerzeiten oder durch mechanische Veränderungen (etwa Verrutschen von Abschirmungen etc.) während der Bergung und dem Transport veränderte ODL-Werte an den Außenseiten der Innenbehälter auftreten können.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 181
---	------------

Verwendbarkeit ausgewertet werden sollten. Hierbei ist zu prüfen, inwiefern diese Informationen im Rahmen der Auswertung der Messergebnisse verwendet werden können,

- um diese zur Interpretation der Messergebnisse heranzuziehen oder
- um anhand erkennbarer und verifizierbarer Muster in den vorhandenen Daten aus wenigen Messdaten (z. B. zur Aktivitätsverteilung oder stofflichen Zusammensetzung) anstelle von zusätzlichen Messschritten belastbare Annahmen zu weiteren stofflichen und/oder radiologischen Eigenschaften der rückgeholten Abfälle zu treffen.

**e) Anpassung an das Behälterkonzept**

Sobald das Behälterkonzept abgestimmt vorliegt, sind die messtechnischen und logistischen Einrichtungen entsprechend danach auszulegen. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass

- so wenig wie möglich unterschiedlich dimensionierte Behälter zum Einsatz kommen, auch im Hinblick auf die Art und Position der Anschlagpunkte,
- die Innenbehälter für eine effiziente zerstörungsfreie Messung nicht zu groß dimensioniert werden (eine Massenbegrenzung der durchstrahlenden Verfahren von ca. 1 t ist zu betrachten).

**f) Detaillierte Auswahl und Auslegung der Messtechniken**

Die im Rahmen der Konzeptplanung ausgewählten Messtechniken stellen die vorzusehenden und, auf Basis der verfügbaren Informationen zum Abfallinventar, geeignetsten Einrichtungen der Charakterisierungsanlage dar. Detailberechnungen zur Auslegung der Messeinrichtungen (insbesondere In-situ-Gammaspektrometrie und Neutronmessung) sind unter Berücksichtigung des festzulegenden Behälterkonzeptes (s. Empfehlung unter Punkt d)) im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung durchzuführen.

**g) Verfolgung der messtechnischen Entwicklung weltweit**

Die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu radiologischen Messverfahren (insbesondere den zerstörungsfreien) sind weiterhin zu verfolgen und ggf. verfügbare Ergebnisse hierzu in den nächsten Planungsschritten zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf die grundsätzlichen Messtechniken sind dabei bis zum geplanten Rückholdatum keine Neuentwicklungen absehbar. Jedoch sind insbesondere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten hinsichtlich der Verbesserung von Effizienz, Genauigkeit und Praxistauglichkeit für große Abfallmengen zu verfolgen.

Dies betrifft beispielsweise

- die Neutronen-Aktivierungsanalyse (NAA) im Gebindemaßstab und die effiziente Anwendung auf entsprechend große Abfallmengen,
- präzisere und möglichst automatisierte Abfallmessungen unter effizienter und automatisierter Erkennung und Berücksichtigung der Abfallstrukturen (z. B. durch Anwendung künstlicher Intelligenz).

**10 Zusammenfassung**

Die Charakterisierung der rückgeholten radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II soll gewährleisten, dass alle relevanten Messgrößen bestimmt werden können, welche für die Wahl geeigneter Konditionierungsverfahren, die anschließende Zwischenlagerung sowie den Transport in ein Endlager und die Endlagerung notwendig sind.

In dem vorliegenden Konzept zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle werden die Planungsschritte für die Aufstellung der rechtlichen und technischen Randbedingungen unter Angabe der notwendigen Messverfahren und -einrichtungen dargestellt. Die grundsätzliche Vorgehensweise und wesentlichen Aspekte der Konzeptentwicklung ist in Abb. 32 gezeigt. Die somit konzeptionierten Verfahren sind geeignet zum Nachweis der Erfüllung der betreffenden technischen und rechtlichen Bedingungen und bilden die Grundlage für die nachfolgende Entwurfs- und Genehmigungsplanung der Charakterisierungsanlage.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 182	

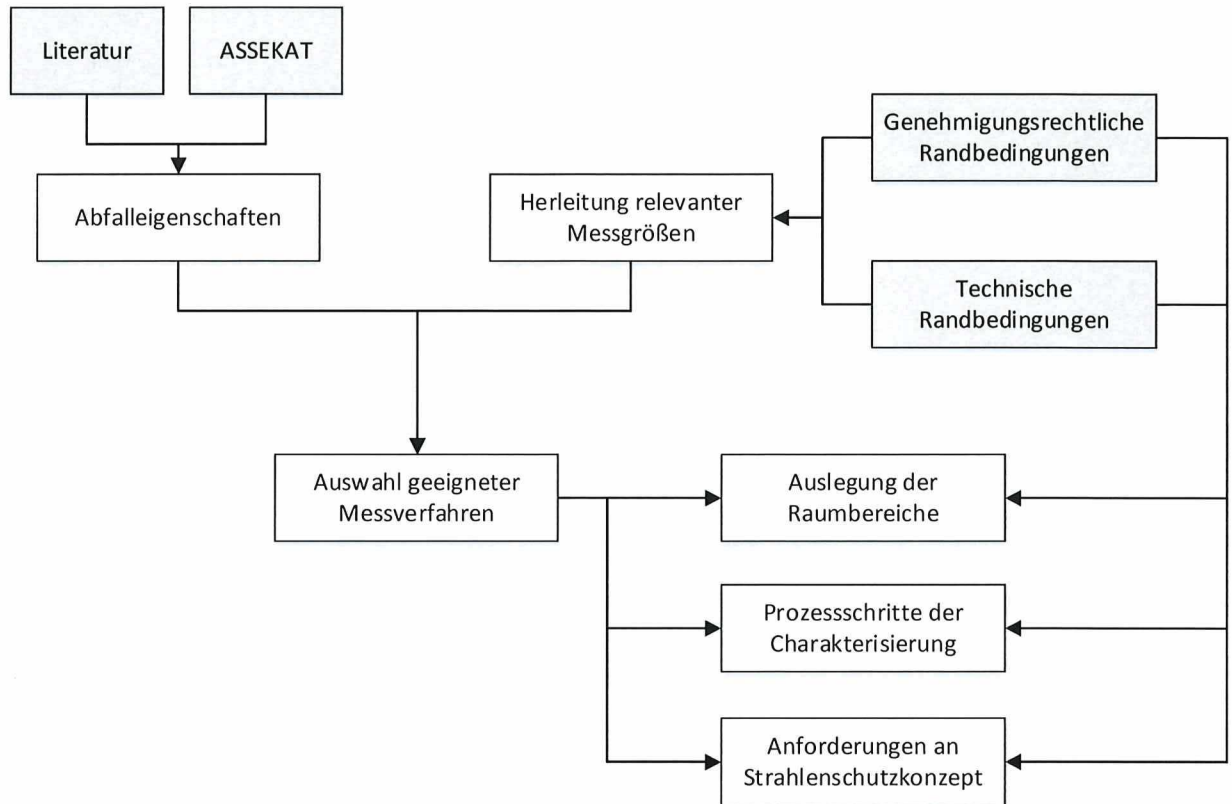


Abb. 32: Wesentliche Aspekte der Konzepterstellung zur Charakterisierung der rückzuholenden radioaktiven Abfälle.


Die **Kenntnisse zu den Abfalleigenschaften** werden dabei vor allem aus der Datenbank ASSEKAT und sowie vorliegenden Studien und Informationen erhoben und zusammengestellt. Dabei zeigt sich insbesondere, dass bezüglich der Angaben zu Dosisleistung, Abfallmaterial, Aktivitäten und stoffliche Inhalte eine große Diversität vorliegt und vielfach nur abdeckende Aussagen über zu erwartende Inhalte aus der Rückholung gemacht werden können. Da zudem die Abfälle bei der Rückholung vielfach als nicht eindeutig identifizierbar erwartet werden können, ggf. beschädigt sind oder bei der Bergung zerstört werden, muss die Charakterisierungsanlage daher sowohl auf eine große Bandbreite an Eigenschaften, als auch auf grundsätzlich unbekannte und im Verlauf des Prozesses zu identifizierende Inhalte ausgelegt sein. Dies betrifft sowohl die Messtechnik als auch die (individuelle) Planung der Messkampagnen.

Die **genehmigungsrechtlichen Randbedingungen** beeinflussen die bauliche und technische Auslegung der gesamten Abfallbehandlungsanlage und dem Zwischenlager und geben zudem vor, welche Messgrößen mit welchen Nachweisgrenzen zu bestimmen sind. Im Rahmen der Konzeptplanung des Anlagenbereiches der Charakterisierung als Teil der Abfallbehandlungsanlage (ABA) sind umfassende Betrachtungen zu Ableitungswerten und Störfällen noch nicht zielführend, da diese für die gesamte ABA zu berechnen sind. Es lässt sich auf Basis der Kenntnisse zu den radiologischen Eigenschaften der rückzuholenden Abfälle und deren Betrachtung im Verhältnis zu bereits genehmigten Abfallbehandlungsanlagen jedoch bereits konzeptionell ableiten, dass durch die Wahl geeigneter technischer und organisatorischer Strahlenschutzmaßnahmen die Ableitungen begrenzt und die relevanten Störfälle beherrschbar sind. Die Genehmigungsfähigkeit der ABA ist auf Basis der derzeit bekannten Abfalleigenschaften und dem geplanten Umgang mit diesen Abfällen (z. B. unter Berücksichtigung, dass die in der Schachanlage Asse II eingelagerte Gesamtaktivität nicht gleichzeitig in einem Raumbereich der Abfallbehandlungsanlage charakterisiert bzw. konditioniert werden wird) im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung zu zeigen.

Bei den **technischen Randbedingungen** stehen die für die endlagergerechte Charakterisierung erforderlichen Messgrößen im Vordergrund, welche grundsätzlich in vier Kategorien eingeteilt



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 183
--	------------

werden können: strahlenschutztechnisch, mechanisch/strukturell, chemisch/stofflich und radiologisch. Da derzeit noch keine gültigen Endlagerungsbedingungen für die Abfälle aus der Schachtanlage Asse II vorliegen, werden hilfsweise die Endlagerungsbedingungen für das Endlager Konrad qualitativ zugrunde gelegt. Für die weiteren Planungsschritte, insbesondere die Aufstellung der Annahmekriterien für das Zwischenlager, sind die technischen Randbedingungen entsprechend anzupassen und quantitativ auszulegen. Für die o. g. vier Messgrößenkategorien stehen eine Reihe verschiedener etablierter Nachweis- bzw. Behandlungsverfahren zur Verfügung, die umfassend aufgeführt und beschrieben werden. Es zeigt sich durch Überschneidungen gerade bei den mechanisch/strukturellen Verfahren, wie auch bei einer Betrachtung des Behandlungsprozesses, dass es für eine effiziente Auslegung erforderlich ist, die Charakterisierung und Konditionierung der Abfälle innerhalb der Abfallbehandlungsanlage (ABA) im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung räumlich und logistisch eng miteinander zu verzahnen. Durch Einrichtung von Pufferlagerflächen für (teil-)charakterisierte sowie für (teil-)konditionierte Abfälle können Auslastungsspitzen im Anlagenbetrieb aufgefangen bzw. rückgeholte Abfälle bis zum Ergebnis der jeweiligen Auswertungen von Messungen und Entscheidung des weiteren Vorgehens geeignet aufbewahrt werden.

Die Festlegung der einzelnen Raumbereiche zur Charakterisierung erfolgt unter der Angabe, welches Verfahren in welcher Messstation vorgesehen werden sollte. Die entsprechenden Anforderungen an die Konditionierung werden im Rahmen dieser Konzeptplanung bereits ebenfalls spezifiziert.

Die rückgeholten Abfälle werden in noch dafür auszulegende Innenbehälter geladen, welche wiederum in Umverpackungen eingestellt und nach über Tage in die ABA eingeschleust werden. Im Mittel wird hierbei angenommen, dass 5,3 Umverpackungen pro Tag an der ABA angeliefert werden können. Zur Charakterisierung der Abfälle sind in der ABA verschiedene Stationen vorgesehen, an denen die jeweiligen Mess- und/oder Behandlungsschritte durchgeführt werden.

Der konzeptionierte Prozessablauf sieht dabei vor, unter Berücksichtigung der verfügbaren Informationen aus der Bergung und schätzender Verfahren zur radiologische Auswertung zunächst zerstörungsfreie strukturelle und radiologische Standardmessungen an allen Innenbehältern durchzuführen. Es werden hierfür diejenigen Verfahren ausgewählt, welche eine ausreichende Genauigkeit an die Erfüllung der Anforderungen an die Charakterisierungsmessungen bieten. Von den zerstörungsfreien Methoden sind dies die

- Tomographie (oder auch Gamma-Radiographie für zeiteffizientere Messungen),
- In-situ-Gammaspektrometrie sowie
- direkte Neutronenmessverfahren.


Die Ergebnisse der Messungen zur Dichteverteilung mittels Tomographie oder Gamma-Radiographie dienen, neben der Identifikation von prägnanten Abfallstrukturen und der Ausweisung von Homogenbereichen für eine ggf. erforderliche Probenahme, auch zur Planung, Auslegung und Interpretation der zerstörungsfreien radiologischen Messungen.

Bei der Anwendung zerstörungsfreier Messverfahren ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Auflösung dieser Messverfahren – neben der gewählten Messzeit – auch von der Dichte des zu charakterisierenden Materials (Abschirmungen) sowie der Masse des rückgeholten radioaktiven Abfalls im IB abhängt. Eine Massenbegrenzung der IB ist daher im Rahmen der Entwicklung des Behälterkonzeptes zu berücksichtigen, sofern die Charakterisierung im Wesentlichen auf zerstörungsfreien Messmethoden beruhen soll.

Die weiteren, ggf. invasiven Einzelschritte (z. B. Probenahme, Sortierung) haben sich jeweils fallspezifisch nach den vorliegenden Informationen und dem Zustand der Abfälle zu richten. Sowohl vor als auch nach jedem Prozessschritt ist über den nächsten Schritt zu entscheiden, bis die notwendigen Informationen über die rückgeholten Abfälle mit ausreichender Genauigkeit ermittelt worden sind. Invasive Verfahren wie Öffnung der Innenbehälter und ggf. der Einzelgebände, Probenahme und Manipulation werden dabei nur in dem Umfang vorgesehen, wie er entsprechend der Datenlage für die Ermittlung der erforderlichen Informationen notwendig ist. Dies reduziert das aufwändige und potenziell gefährdende Stoffe freisetzende Öffnen von rückgeholten



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 184
---	------------

Abfallbehältern auf ein Minimum. Soweit möglich, sollten dabei die Abfälle gemäß den zerstörungsfreien Messergebnissen in Clustern (neuen Chargen) gruppiert werden, um repräsentative Proben möglichst umfassend anwenden zu können.

Bei der schrittweisen Auswertung der Informationen sind insbesondere Methoden basierend auf künstlicher Intelligenz heranzuziehen, welche es ermöglichen können, große und komplexe Datensätze strukturiert, zeiteffizient und weniger fehleranfällig auszuwerten. Die Ergebnisse der Auswertungen können wiederum dazu herangezogen werden, strukturelle oder radiologische/stoffliche Muster in den eingelagerten Abfällen zu erkennen (insbesondere in rückgeholten Abfällen aus einer ELK). Diese Muster könnten im Rahmen der Auswertung nachfolgender Abfallmaterialien zu einem besseren Verständnis zur Art und Zusammensetzung des jeweils zu charakterisierenden Abfallmaterials beitragen und somit ggf. die Anzahl an Messkampagnen reduzieren.

Zur Durchsatzabschätzung der in diesem Konzept festgelegten Verarbeitungsstationen und Prozessschritte wird eine eigens hierfür entwickelte Kalkulationstabelle herangezogen, welche es erlaubt, aus den zugrundeliegenden Annahmen über die einzelnen Verarbeitungsschritte (insbesondere Anteile von verschiedenen Abfallkategorien und typische Prozessschrittdauern) die zentralen Kenngrößen, sowohl über einzelne Abfallkategorien als auch über den gesamten rückzuholenden Abfall gemittelt zu bestimmen.

Der Vergleich einzelner Abfallkategorien und Prozessschritte untereinander ermöglicht hier eine schnelle, quantitative Aussage, an welchen Stellen Engpässe hinsichtlich des Gesamtdurchsatzes liegen könnten. An diesen Stellen können gezielt Optimierungen getroffen werden, indem entweder mehr Mess-/Verarbeitungssysteme vorgesehen oder die Zeit eines einzelnen Prozessschrittes durch geeignete Planung der Anlagenbelegung und Logistik verringert wird.

Eine Durchsatzberechnung für die Charakterisierungsanlage auf Basis konservativ-abschätzender Annahmen ergibt einen mittleren Durchsatz von ca. 3 UV pro Tag. Diese Zahl liegt unter der zum derzeitigen Planungsstand prognostizierten mittleren Anlieferungsrate von 5,3 UV pro Tag. Die Abschätzungen zeigen, dass sowohl die Behälterzustände als auch die zerstörungsfreie Messbarkeit der Abfälle keinen wesentlichen Einfluss auf den mittleren Durchsatz der Charakterisierungsanlage haben. Als wesentliche Begrenzungsfaktoren werden hierbei vielmehr folgende Prozessabläufe identifiziert:

- der Zeitbedarf für Probenahme und -logistik (kritischster Pfad),
- der Umgang mit rückgeholten Abfällen in der Heißen Zelle/Hantierungszelle im Rahmen der (Vor-)Behandlung der rückgeholten radioaktiven Abfälle,
- der tomographische Scanner für zylindrische Gebinde aufgrund hoher Messzeiten zur Messung von Spezialfällen.

Möglichkeiten zur Optimierung sind somit

- die Optimierung der Probenanzahl und Verbesserung der Probenlogistik (die Auswertzeit ist durch Pufferlagerflächen zu kompensieren),
- die Erhöhung der Anzahl paralleler Messstraßen,
- ggf. die Errichtung einer zweiten Hantierungszelle,
- die Erhöhung der Arbeitszeit auf drei Schichten pro Tag (die Abschätzung erfolgt unter der Annahme eines Zweischicht-Betriebs).

Unter Zugrundelegung dieser optimierten Parameter wird im Ergebnis der Durchsatzabschätzung eine Erhöhung des mittleren Durchsatzes der Charakterisierungsanlage von ca. 3 UV/Tag auf ca. 6 UV/ Tag erzielt. Für die weiteren Planungen und Durchsatzabschätzungen der gesamten Abfallbehandlungsanlage mit Pufferlagerung sind diese Möglichkeiten zur Optimierung daher im Rahmen der Auslegung der Raumbereiche und unter Berücksichtigung der zu Verfügung stehenden Fläche daher besonders zu berücksichtigen.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 185


## Literaturverzeichnis

### *Gesetze, Richtlinien und Regelwerke*

- [1] Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren (Atomgesetz), in der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565), zuletzt geändert durch Artikel 3a des Gesetzes vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 960).
- [2] Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 5 Absatz 1 des Gesetzes vom 23. Oktober 2020 (BGBl. I S. 2232) geändert worden ist.
- [3] Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. November 2020 (BGBl. I S. 2502) geändert worden ist.
- [4] Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 253 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- [5] Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. I S. 1044) geändert worden ist.
- [6] Bekanntmachung der Richtlinie zur Kontrolle radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung, die nicht an eine Landessammelstelle abgeliefert werden vom 16. Januar 1989 (BANz 1989, Nr. 63a), letzte Ergänzung vom 14. Januar 1994 (BANz 1994, Nr. 19). RS-Handbuch 3-59 Stand 12/01.
- [7] Entsorgungskommission (2013): ESK-Leitlinien für die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Empfehlung der Entsorgungskommission. Revidierte Fassung vom 10.06.2013.
- [8] Entsorgungskommission (2013): ESK-Leitlinien für die Konditionierung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. Empfehlung der Entsorgungskommission. Empfehlung der Entsorgungskommission vom 10.12.2020.
- [9] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten) vom 8. Juni 2020. BANz AT 16.06.2020 B3.
- [10] Strahlenschutzkommission: Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) zu § 49 StrlSchV, Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition. Empfehlung der SSK verabschiedet in der 186. Sitzung am 11.09.2003.
- [11] Richtlinie für die physikalische Strahlenschutzkontrolle zur Ermittlung der Körperdosis. Teil 2: Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition (Inkorporationsüberwachung) (§§ 40, 41 und 42 StrlSchV) vom 12. Januar 2007.
- [12] Verordnung (Euratom) Nr. 302/2005 der Kommission vom 8. Februar 2005 über die Anwendung der Euratom-Sicherungsmaßnahmen (ABl. L 54 vom 28.2.2005, S. 1).
- [13] Konsolidierte Fassung des Vertrags zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft. Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, 2010, doi:10.2860/5057.
- [14] Atomrechtliche Entsorgungsverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2172)
- [15] Gesetz zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vom 18. August 1969 (BGBl. 1969 II S. 1489), das zuletzt durch die 27. ADR-Änderungsverordnung vom 25. Oktober 2018 (BGBl. 2018 II S. 443 mit Anlageband) geändert worden ist.
- [16] Ordnung für die internationale Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter (Anlage C zum Übereinkommen über den internationalen Eisenbahnverkehr (COTIF)) vom 9. Mai 1980 (BGBl. 1985 II S. 296) die zuletzt durch die mit der 22. RID-Änderungsverordnung vom 26. Oktober 2020 veröffentlichten Änderungen (BGBl. 2020 II S. 856 mit Anlageband) geändert worden ist.
- [17] Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. September 2021 (BGBl. I S. 4343) geändert worden ist.
- [18] Niedersächsisches Wassergesetz (NWG) in der Fassung der „Bekanntmachung der Neufassung des Niedersächsischen Wassergesetzes“ vom 20. August 1990, Niedersächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt 44 (1990) Nr. 33, S. 371-420.



Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**


Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 186
---	------------

- [19] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). GMBI. vom 23. März 2006 Nummer 14 bis 17, Seite 253.
- [20] KTA 1503.1: Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe - Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßigem Betrieb. Fassung 2016-11.
- [21] Richtlinie zur Sicherung von Zwischenlagern gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter (SEWD) (SEWD-Richtlinie Zwischenlager) vom 4. Februar 2013 (GMBI. 2013, Nr. 17, S. 379). (Verschlussache)
- [22] Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge von Störmaßnahmen oder sonstigen Einwirkungen Dritter (SEWD) auf kerntechnische Anlagen und Einrichtungen. GMBI 2014, S. 1314.
- [23] Atomrechtliche Sicherheitsbeauftragten- und Meldeverordnung vom 14. Oktober 1992 (BGBl. I S. 1766), die zuletzt durch Artikel 18 der Verordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034) geändert worden ist.
- [24] Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.
- [25] LAGA PN 98 - Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen. Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 32, Dezember 2001.

#### *Sonstige Literatur*

- [26] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020): Plan zur Rückholung der radioaktiven Abfälle aus der Schachanlage Asse II – Rückholplan.
- [27] Bundesamt für Strahlenschutz, Brennecke, P. (Hrsg.) (2014): Anforderungen an endzulagernde radioaktive Abfälle (Endlagerungsbedingungen Konrad Stand: Dezember 2014).
- [28] Bundesamt für Strahlenschutz, Steyer, S. (Hrsg.) (2010): Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, radiologische Aspekte - Endlager Konrad – Stand: Oktober 2010, Bericht SE-IB-30/08-REV-1.
- [29] Bundesamt für Strahlenschutz, Steyer, S. (Hrsg.) (2010): Produktkontrolle radioaktiver Abfälle, stoffliche Aspekte - Endlager Konrad – Stand: Oktober 2010, Bericht SE-IB-31/08-REV-1.
- [30] Bundesamt für Strahlenschutz, Kugel, K., Ranft, M., Regenauer, U. (2009): Untersuchungen und Erkenntnisse des BfS zum Abfallinventar der Schachanlage Asse II.
- [31] Helmholtz Zentrum München, PG Jülich, AG Asse Inventar (2010): Abschlussbericht.
- [32] TÜV Süd (2011b): Schachanlage Asse II, Bericht zur Überprüfung des Abfallinventars, 1. Einzelbeauftragung: Überprüfung der Kernbrennstoffdaten - Teil B. Bundesamt für Strahlenschutz.
- [33] Bundesamt für Strahlenschutz, Herzog, C., Kugel, K., Ranft, M., Regenauer, U. (2011): Erkenntnisse des BfS zum Abfallinventar der Schachanlage Asse II Stand: Juli 2011.
- [34] Bundesamt für Strahlenschutz, Herzog, C., Kugel, K., Ranft, M., Regenauer, U. (2011): Anlagenband zu Erkenntnisse des BfS zum Abfallinventar der Schachanlage Asse II Stand: Juli 2011.
- [35] Erste Genehmigung des Bergamtes Wolfenbüttel zur LAW-Einlagerung vom 22.03.1967.
- [36] Zweite Genehmigung des Bergamtes Wolfenbüttel zur LAW-Einlagerung vom 21.09.1967.
- [37] Dritte Genehmigung des Bergamtes Wolfenbüttel zur LAW-Einlagerung vom 24.04.1969.
- [38] Vierte Genehmigung des Bergamtes Wolfenbüttel zur LAW-Einlagerung vom 28.10.1970.


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 187
--	------------

- [39] Genehmigung des Bergamtes Goslar vom 27.07.1971 zur MAW Einlagerung in Kammer 8a/511.
- [40] Dritter Nachtrag des Bergamtes Goslar vom 22.12.1975 zur MAW-Genehmigung vom 27.07.1971.
- [41] Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (1971): Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Stoffen im Salzbergwerk Asse.
- [42] Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (1972): Vorläufige Bedingungen für die Versuchseinlagerung mittelradioaktiver Abfallstoffe im Salzbergwerk Asse.
- [43] Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (1975): Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Stoffen im Salzbergwerk Asse.
- [44] Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München (1976): Bedingungen für die Versuchseinlagerung von mittelradioaktiven Abfällen in der Kammer 8a der 511-m-Sohle des Salzbergwerkes Asse.
- [45] Physikalisch Technische Bundesanstalt (1968): Genehmigung Nr. 138 PTB 1968 für die Aufbewahrung unbestrahlten Uranoxids in Abbau 4 auf der 750 m-Sohle vom 04.01.1968.
- [46] Physikalisch Technische Bundesanstalt (1971a): Genehmigung Nr. 755 PTB 1971 für die Aufbewahrung von LAW in Kammern im jüngeren Steinsalz auf der 750 m-Sohle vom 02.11.1971.
- [47] Physikalisch Technische Bundesanstalt (1971b): Genehmigung Nr. 756 PTB 1971 für die Aufbewahrung von mittelradioaktiven Abfällen in Kammer 8a auf der 511 m-Sohle vom 02.11.1971.
- [48] Physikalisch Technische Bundesanstalt (1975): Genehmigung Nr. 1462 PTB 1975 für die Aufbewahrung von LAW vom 22.12.1975.
- [49] Physikalisch Technische Bundesanstalt (1976): Genehmigung Nr. 1161 PTB 1976 für die Aufbewahrung von 100.000 bestrahlten AVR-BE-Kugeln in vier Bohrlöchern der 750 m-Sohle vom 04.03.1976.
- [50] Brenk Systemplanung GmbH (2021): Evaluierung des Kernbrennstoffinventars in der Schachtanlage Asse II. Aachen, 14.01.2021.
- [51] Krings, T. H. (2014): SGSreco – Radiologische Charakterisierung von Abfallfässern durch Segmentierte Gamma-Scan Messungen. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment, Band 208, ISBN 978-3-89336-945-4.
- [52] Hoff, M., Meyer, H., Tholen, M. (2000): Erstellung einer Datenbank zur Aktualisierung des Radionuklidinventars im Forschungsbergwerk Asse. GSF, interner Bericht 1/2000, Remlingen.
- [53] Herzog, C., Schneider, L. (2001): Bestimmung der stofflichen Hauptbestandteile der in das Salzbergwerk Asse eingelagerten Abfälle. Abschlussbericht. Ingenieurtechnik GmbH, im Auftrag des GSF.
- [54] Buchheim, B., Meyer, H., Tholen, M. (2004): Bestimmung des Inventars an chemischen und chemotoxischen Stoffen in den eingelagerten radioaktiven Abfällen der Schachtanlage Asse. Abschlussbericht.
- [55] Datenbank Assekat, Version 8.
- [56] Datenbank Assekat, Version 9.3.1.
- [57] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2018): Jahresbericht 2017 über das radiologische Salzlösungsmonitoring im Rahmen des betrieblichen Strahlenschutzes der




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	JA	Lfd Nr	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 188

### Schachanlage Asse II.

- [58] Institut für Sicherheitstechnik (ISTec) GmbH (2009): Systembeschreibung: Potenziell kontaminierte und kontaminierte Lösungen und Feststoffe in der Schachanlage Asse II. ISTec-A-1433 (Rev. 1), im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz, Köln.
- [59] DIN 6635:1955-07 (1955): Stahlfässer - Rollreifentfässer, geschweißt (NORM zurückgezogen), Beuth-Verlag, Berlin.
- [60] DIN 6636:1955-07 (1955): Stahlfässer - Rollreifentfässer, gefalzt (NORM zurückgezogen), Beuth-Verlag, Berlin.
- [61] ASSE GmbH (2009): Beschreibung der Lagerbereiche der Abfälle. KZL 9A/13500000/BE/RA/0001/00.
- [62] Brenk Systemplanung GmbH (2017): Iststandsanalyse zur Kenntnis des stofflichen Inventars in den radioaktiven Abfällen der Schachanlage Asse II. BS-Projekt-Nr. 1509-08/02, Aachen.
- [63] Bundesamt für Strahlenschutz (2015): Schachanlage Asse II; Kenntnis über die eingelagerten Abfälle, Erlass vom 10.09.2015 (RSIII5-14841-1/24, Brief des Bundesamtes für Strahlenschutz an BMUB RS III).
- [64] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2021): Auf dem Weg zur Genehmigung. URL: [www.bge.de/de/asse/themenschwerpunkte/themenschwerpunkt-rueckholung/auf-dem-weg-zur-genehmigung/](http://www.bge.de/de/asse/themenschwerpunkte/themenschwerpunkt-rueckholung/auf-dem-weg-zur-genehmigung/). Letzter Aufruf: 25.02.2021.
- [65] Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH (2020): Planerische Mitteilung zum Antrag auf Genehmigung der Ableitung der Grubenwetter aus Schacht 5 der ASE-RH.4.
- [66] Brennecke, P., Kugel, K., Steyer, S. (2010): Endlager Konrad - Stoffliste, Stand: Oktober 2010. Bundesamt für Strahlenschutz, SE-IB-43/10, Salzgitter.
- [67] Nds. Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2002): Planfeststellungsbeschluss Konrad, Anhang 4-1: Gehobene wasserrechtliche Erlaubnis zur Endlagerung von radioaktiven Abfällen im Endlager Konrad.
- [68] Thomauske, B. Havenith, A. W., Kettler, J. (2013): R&D-study for a Waste Package Scanner (WPS)-Radiological and Structural Material Characterisation: Wissenschaftlich-Technischer Bericht über die Machbarkeit eines zerstörungsfreien Analyseverfahrens zur radiologischen, stofflichen und strukturellen Charakterisierung von großvolumigen kubischen Abfallgebinden. Im Auftrag der NUKEM Technologies GmbH, Dok.-ID nse\_NU01\_12-2013 i.d.F. vom 16.12.2013.
- [69] IAEA Safety Standards, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2018 Edition), Specific Safety Requirements No. SSR-6 (Rev. 1).
- [70] Brenk Systemplanung GmbH (2019): Experimentelle und theoretische Untersuchungen zu radioaktiven Quellen und Gegenständen im Stahlschrott. BfS-Ressortforschungsbericht zum Strahlenschutz, Vorhaben 3615S52320.
- [71] Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gGmbH (2020): Erforschung der Anforderungen an eine radiologische Charakterisierung zur Planung und Durchführung von Stilllegungsmaßnahmen. GRS-589, ISBN 978-3-947685-75-2.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 189
--	------------

## Glossar

Abfallbehandlungsanlage (ABA)	Der geplante, gemeinsame Komplex aus Charakterisierungsanlage, Konditionierungsanlage und Pufferlagerung für die rückgeholten Abfälle aus der Schachtanlage Asse II
Abfallbehälter	Behälter zur Aufnahme eines Abfallprodukts (z. B. Fass, Betonbehälter, Gussbehälter, Container).
Abfallbehälter, beschädigt	Behälter, welcher durch Beschädigung einen Integritätsverlust aufweist und das darin enthaltene Abfallmaterial in Teilen austreten kann.
Abfallbehälter, zerstört	Der Behälter liegt in Fragmenten vor, das gesamt darin enthaltene Abfallmaterial wurde freigelegt.
Abfallgebinde	Endzulagernde Einheit aus (konditioniertem) Abfallprodukt und Abfallbehälter.
Abfallmaterial	Radioaktiver Abfall ohne Verpackung und Fixiermaterial, unabhängig davon, ob es sich um Rohabfall oder verarbeiteten Abfall (Abfallprodukte) handelt.
Abfallprodukt	Verarbeiteter radioaktiver Abfall ohne Abfallbehälter.
Ableitung	Kontrollierte Abgabe flüssiger, gasförmiger oder aerosolförmiger radioaktiver Stoffe aus der Anlage auf dafür vorgesehenen Wegen.
Aktivität	Die Zahl der je Sekunde in einer radioaktiven Substanz zerfallenden Atomkerne.
Ausgangsstoffe	Definition gem. Artikel 197, EURATOM-Vertrag: Uran, welches das in der Natur vorkommende Isotopengemisch enthält; Uran, dessen Gehalt an Uran 235 unter dem normalen Gehalt liegt; Thorium; alle oben genannten Stoffe in Form von Metall, Legierungen, chemischen Verbindungen oder Konzentraten; jeder andere Stoff, der einen oder mehrere der oben genannten Stoffe mit Konzentrierungen enthält, welche der Rat auf Vorschlag der Kommission mit qualifizierter Mehrheit bestimmt.
Einzelgebinde	Intakter rückgeholter Abfallbehälter bzw. ein noch mechanisch hinreichend stabiler und als Einzelobjekt hantierbarer, größerer Teil davon
Freisetzung	Entweichen radioaktiver Stoffe aus den vorgesehenen technischen oder baulichen Umschließungen in die Anlage oder Anlagenumgebung.
Innenbehälter	Dient der Aufnahme der rückgeholten Abfälle sowie dem kontaminierten Haufwerk. Der Innenbehälter wird im Bereich der Schleuse der jeweiligen Einlagerungskammer in die Umverpackung zum weiteren Transport gestellt.
Kernbrennstoff	Definition gem. § 2 Absatz 1 Atomgesetz: Besondere spaltbare Stoffe in Form von <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Plutonium 239 und Plutonium 241,</li> <li>2. mit den Isotopen 235 oder 233 angereichertem Uran,</li> <li>3. jedem Stoff, der einen oder mehrere der in den Nummern 1 und 2 genannten Stoffe enthält,</li> <li>4. Stoffen, mit deren Hilfe in einer geeigneten Anlage eine sich selbst tragende Kettenreaktion aufrechterhalten werden kann und die in einer Rechtsverordnung bestimmt werden;</li> </ol> der Ausdruck „mit den Isotopen 235 oder 233 angereichertes Uran“ bedeutet Uran, das die Isotope 235 oder 233 oder diese beiden Isotope in einer solchen Menge enthält, dass die Summe der Mengen dieser beiden Isotope größer ist als die Menge des Isotops 238 multipliziert mit dem in der Natur auftretenden Verhältnis des Isotops 235 zum Isotop 238.




Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00




Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -	Blatt: 190
--	------------

Kernmaterial	Definition gem. Art. 2 der Euratom-Verordnung Nr. 302/2005: Erze, Ausgangsmaterial oder besonderes spaltbares Material wie in Artikel 197 Euratom-Vertrag definiert.
Loser Abfall / loses Abfallmaterial	Aus der Schachtanlage Asse II rückgeholtes Abfallmaterial, das nicht in Form einer mechanisch stabilen und transportfähigen Einheit in einem ursprünglich eingelagerten (und ggf. beschädigten) Behälter vorliegt.
Messbehälter	Behälter, in welche in der CA oder KA Rohabfälle aus IB eingefüllt werden, um sie darin effektiver charakterisieren zu können. Dies dient insbesondere der Sammlung von gleichartigem Abfallmaterial, sowie der Herstellung einer besser geeigneten und/oder physisch stabileren Form für die Messung. Als Messbehälter können, je nach Anforderung, Überfässer, kontaminationsfreie IB oder weitere Spezialbehälter (möglichst konstruktiv an die IB angelehnt) eingesetzt werden.
Pufferlagerung	Zeitlich begrenzte Lagerung von unkonditionierten Abfällen oder Zwischenprodukten vor oder während der Abfallbehandlung.
Rohabfall	Unverarbeiteter rückgeholter radioaktiver Abfall, der charakterisiert und nochmals konditioniert und umverpackt werden muss und somit in Anlehnung an Tabelle 1 der atomrechtlichen Entsorgungsverordnung (AtEV) [14] als Rohabfall eingestuft werden kann. Im Rahmen dieses Berichts werden dabei alle aus der Schachtanlage Asse II rückgeholten Abfälle zunächst als Rohabfall angesehen, unabhängig von ihrem Zustand.
Safeguards	Technische und administrative Maßnahmen, die von der IAEA auf spaltbare Stoffe und kerntechnische Aktivitäten angewendet werden, um den unbefugten Umgang mit spaltbaren Stoffen zu verhindern. Die IAEA versucht, die rechtliche Verpflichtung eines Staates unabhängig zu überprüfen, dass kerntechnische Anlagen und spaltbare Stoffe nicht missbraucht werden, sondern ausschließlich einer friedlichen Verwendung dienen. Die Staaten akzeptieren diese Maßnahmen durch den Abschluss von Safeguards-Vereinbarungen.
Scheinaktivität	Die Aktivität wird nur durch die Überschätzung des Anteils schwer bestimmbarer Radionuklide berechnet, ist aber im Material nicht vorhanden. Scheinaktivitäten können dann ein Problem darstellen, wenn die Gesamtaktivität einzelner Radionuklide (z. B. Alphastrahler) für eine beabsichtigte Art des Umgangs oder der Lagerung begrenzt ist.
Schlüsselnuklid	Meist über Gammastrahlung detektiertes, leicht messbares Nuklid, welches einen hohen Anteil am zu messenden Nuklidgemisch aufweist und somit über Korrelation zur Ermittlung der Aktivität schwer messbarer Nuklide herangezogen werden kann.
Sicherheitsnachweis	Umfassender Nachweis, dass die nach dem Stand von Wissenschaft und Technik erforderliche Vorsorge gegen Schäden durch den Betrieb der Anlage getroffen ist. Der Sicherheitsnachweis dient im Genehmigungsverfahren dem Nachweis der Einhaltung der Genehmigungsvoraussetzungen und bedient sich dabei der Ergebnisse der Sicherheitsanalyse.
Stoffe, besondere spaltbare	Definition gem. Artikel 197, Euratom-Vertrag: Plutonium 239; Uran 233; mit Uran 235 oder 233 angereichertes Uran; jedes Erzeugnis, in dem eines oder mehrere der oben genannten Isotope enthalten sind, und sonstige spaltbare Stoffe, die durch den Rat auf Vorschlag der Kommission mit qualifizierter Mehrheit bestimmt werden; doch zählen Ausgangsstoffe in keinem Fall zu den besonderen spaltbaren Stoffen.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		
										Blatt: 191

Störfall	Ereignisablauf, bei dessen Eintreten der Betrieb der kerntechnischen Anlage, der Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung oder die Tätigkeit aus sicherheitstechnischen Gründen nicht fortgeführt werden kann und für den die kerntechnische Anlage oder die Anlage zur Erzeugung ionisierender Strahlung auszulegen ist oder für den bei der Tätigkeit vorsorglich Schutzvorkehrungen vorzusehen sind.
Umverpackung	Konrad-Container Typ IV mit Innenbehälter zum Transport der rückgeholtten Abfälle zu den übertägigen Behandlungsanlagen und Lagereinrichtungen. Zur Vermeidung von Kontaminationsverschleppungen wird für die Umverpackungen ein Doppeldeckelsystem verwendet, sodass für den Transport von der Schleuse durch das sonstige Grubengebäude zum Förderschacht außenkontaminationsfreie Umverpackungen bereitgestellt werden.
Uran, abgereichertes	Der Begriff abgereichertes Uran bezeichnet Uran mit einem geringeren Stoffmengenanteil an U-235 als natürliches Uran.
Uran, angereichertes	Der Begriff angereichertes Uran bezeichnet Uran mit einem höheren Stoffmengenanteil an speziellen spaltbaren Radionuklidisotopen (U-233, U-235) als natürliches Uran (z. B. Urankernbrennstoff). Unterschieden werden insbesondere niedrig angereichertes Uran (LEU: <i>Low-Enriched Uranium</i> ) und hoch angereichertes Uran (HEU: <i>High-Enriched Uranium</i> ).
Zwischenlagerung	Längerfristige Lagerung von konditionierten oder teilkonditionierten Abfällen zur Bereitstellung für die Endlagerung.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 192


## Anhänge

### Anhang 1

Behältereigenschaften der Standardbehälter der rückzuholenden radioaktiven Abfälle [56].

Standard	Vol.	Eisen	Brutto	Typ	Zement	Netto	Einlagerungs- bedingung	Bemerkungen
	200	50	220	RS		200	Juli 71	Rollsickenfass
	200	55	220	RR		200	Juli 71	Rollreifenfass
	200	60	220	RE		200	Juli 71	Rollreifenfass nach 2e der Einlagerungsbedingung
	200	50	220	RB	177	123	Juli 71	Rollsickenfass, allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RR	200	100	1170	f	2185	200	Dez 75	Kennzeichnung einer 200l VBA
RR	200	55	220	c		200	Dez 75	
	200	15	220	BT		200	Juli 71	Blechtrommel
	200	15	220	BB	177	123	Juli 71	Blechtrommel, allseitig mit 5 cm Beton ausgekleidet
RS	200	50	220	a		200	Dez 75	
RR	400	125	440	e	414	200	Dez 75	
RR	400	70	440	d		400	Dez 75	
RS	400	60	440	b		400	Dez 75	

Angaben gem. ASSEKAT 9.3.1 [56]


Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		
										Blatt: 193

## Anhang 2

Behältereigenschaften der Sonderverpackungen der rückzuholenden radioaktiven Abfälle [56].

Gebinde	Material	Volumen	Eisen	Zement	Netto	Brutto	Bemerkungen
RR 400 l	Eisen	400	70		400	440	
250 l Fass	Eisen	250			250	275	ähnlich DIN 6635
200 l Sickenfass mit 125 l Innenfass	Beton + Eisen	200			125	220	Raum zwischen Innen- und Aussenfass mit Beton ausgegossen
150 l Versandtrommel		150			150		
RR 300 l mit 200 l Innenfass	Beton + Eisen	300			200	330	Innenfass fest einbetoniert, vollständig ummantelt
Gestell für VAK-Kisten	Baustahl	1231			1.000		Außenabmessungen in mm: 1.160x1.030x1.030; Gestell nimmt acht VAK auf; max. Gesamtgewicht: 1,5 t; VAK: Zinkblechkiste, Volumen: 125 l
VBA 400 l	Beton + Eisen	400	115	1485	400		
BT 400 l	Eisen	400	18		400	440	
BT 250 l	Eisen	250	16		250	275	
RR 250 l	Eisen	250	60		250	275	
BB 400 l	Eisen	400	18	248	292	440	
400 l-Fass	Eisen	400			400	440	
BB 250 l	Eisen	250	16				
RB 400 l	Eisen	400	60	248	292	440	
RS 400 l	Eisen	400	60		400	440	
RR 200 l mit 100 l Innenfass	Beton + Eisen	100			100	220	
RE 200 l in VBA einbetoniert	Beton + Eisen						
RS 200 l in VBA einbetoniert	Beton + Beton						
RR 300 l	Eisen	300			300	330	
RE 400 l	Eisen	400			400	440	
400 l Fass mit 200 l Innenfass	Beton + Eisen	400			200	440	Innenfass einbetoniert
RR mit 8mm Stahl+Beton	Stahl + Beton	200				220	Annahme: 8mm Stahlzylinder + 5cm allseitige Betonauskleidung;
RR mit Betonabschirmung	Eisen + Beton	200				220	Annahme: 5cm allseitige Betonauskleidung
RR mit 8mm Blei+Beton	Blei + Beton + Eisen	200				220	Annahme: 8mm Bleizylinder + 5cm allseitige Betonauskleidung;
RR mit 14mm Blei+Beton	Blei + Beton + Eisen	200				220	Annahme: 14mm Bleizylinder + 5cm allseitige Betonauskleidung;




Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 194

Gebinde	Material	Volumen	Eisen	Zement	Netto	Brutto	Bemerkungen
RR mit 10mm Blei+Beton	Blei + Beton + Eisen	200				220	Annahme: 10mm Bleizylinder und 5cm allseitige Betonauskleidung;
RR mit 4mm Blei+Beton	Blei + Beton + Eisen	200				220	Annahme: 4mm Bleizylinder und 5cm allseitige Betonauskleidung;
RR mit 8mm Blei+FeGranulat	Eisen + Blei	200				220	Annahme: 8mm Bleizylinder und 5cm Fe-Granulatschüttung (Schüttdichte=0,5);
RR mit 8mm Stahl+FeGranulat	Eisen	200				220	Annahme: 8mm Stahlzylinder und 5cm Fe-Granulatschüttung (Schüttdichte 0,5);
RR mit FeGranulat	Eisen	200				220	Annahme: Abschirmung aus 5cm Fe-Granulatschüttung (Schüttdichte 0,5);
RR 200 I in Betonbehälter einbetoniert	Beton + Eisen						
RR 200 I in Schwerbetonbehälter einbetoniert	Beton + Eisen						
Tank (Reaktor-Brennelemente Union)	St 37 (Stahl)	133,824			132	134	Angaben laut Anschreiben RBU vom 21.05.1975 (Ordner Bergamt Goslar).
VBA 200 I	Beton + Eisen	200			200		
RR 200 I in Normalbetonabschirmung	Beton + Eisen						
VBA 200I mit 3mm Stahlbehälter	Beton + Eisen	200			200		
VBA 200 I mit Zusatzabschirmung	Beton + Eisen	200					
Kasten (GSF)	Eisen	1064			968		152cm/100cm/70cm; Wandungen aus 1,5 mm Blech;
UF-6 Zylinder (RBU)		1000					
Verdampfer I (GSF)	Eisen + Beton						aus DEKO-Anlage; weitere Angaben siehe Hausmitteilung vom 18.10.1978 (Ordner Bergamt) und Anschreiben Bergamt Goslar vom 21.11.1978
Verdampfer II (GSF)	Eisen						aus DEKO-Anlage; weitere Angaben siehe Hausmitteilung vom 18.10.1978 (Ordner Bergamt) und Anschreiben Bergamt Goslar vom 21.11.1978

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANINNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -


Blatt: 195

Gebinde	Material	Volumen	Eisen	Zement	Netto	Brutto	Bemerkungen
Stahlbehälter bleigefüttert (GSF)	Eisen + Blei						weitere Angaben siehe Hausmitteilung vom 18.10.1978 (Ordner Bergamt) und Anschreiben Bergamt Goslar vom 21.11.1978
Verdampfer III (GSF)	Eisen		280				aus DEKO-Anlage; weitere Angaben siehe Hausmitteilung vom 18.10.1978 (Ordner Bergamt) und Anschreiben Bergamt Goslar vom 21.11.1978
Verdampfer IV (GSF)	Eisen		500				aus DEKO-Anlage; weitere Angaben siehe Hausmitteilung vom 18.10.1978 (Ordner Bergamt) und Anschreiben Bergamt Goslar vom 21.11.1978
GKSS vom 07.07.78	nicht-rostender Stahl	1320				2500	Unverpackte Behälter und Apparateile, alle Öffnungen zugeschweißt oder mit Blindflanschen verschlossen; Gesamtvolumen laut Betriebsbuch 2,5 m <sup>3</sup>
GKSS vom 14.06.78	Stahl		3500				Wärmetauscher
BT 100 I	Eisen	100			100	110	
RS 100 I	Eisen	100			100	110	oft von TRANSNUKLEAR verwendet
Rechteckabschirmung (KFK)	Beton + Eisen						von der Firma KFK erstmalig am 16.11.78 (IDNr. 448) verwendet; siehe auch Schreiben an das Bergamt Goslar vom 28.11.1978
Behälter Nr. 146	Stahl St. 12.03	315			310	315	Außenabmessungen in mm: 610x670x770, 3mm Stahl; Informationen Schreiben der GSF an Bergamt vom 12.01.79 entnommen
Behälter Nr. 147	Stahl St. 12.03	269			265	270	Außenabmessungen in mm: 810x410x810, 3 mm Stahl; Informationen Schreiben der GSF an Bergamt vom 12.01.79 entnommen
Behälter Nr. 148	Stahl St. 12.03	274			269	274	Außenabmessungen in mm: 360x360x2.111, 3 mm Stahl; Informationen Schreiben der GSF an Bergamt vom 12.01.79 entnommen

Angaben gem. ASSEKAT 9.3.1 [56]



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**


Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 196

### Anhang 3

Energien und Emissionswahrscheinlichkeiten emittierter Gamma-Strahlung der in der ASSEKAT 9.3.1 [56] dokumentierten Nuklide.

Radionuklid	Energie [keV]	Emissions- wahrscheinlichkeit [%]
Ac-227	28,57	0,042
	99,60	0,005
	160,49	0,004
Ac-228	911,19	26,2
	968,96	15,9
	338,32	11,4
Ag-108m	433,90	90,100
	614,30	90,500
	722,90	90,800
Am-241	26,34	2,310
	33,19	0,120
	59,54	35,920
Am-242m	49,37	0,130
	86,67	0,020
	109,62	0,018
Am-243	43,53	5,890
	74,66	67,200
	117,60	0,570
Ba-133	356,01	62,05
	80,99	33,31
	302,85	18,31
Be-10	-	-
Bi-210	304,89	0,000061
	265,83	0,000048
Bi-211	351,03	13
Bi-214	609,31	45,49
	1764,49	15,31
	1120,28	14,91
C-14	-	-
Ca-41	-	-
Cd-113m	263,70	0,018
Cf-249	-	-
Cl-36	511,00	0,0031
Cm-243	277,59	14
	228,18	10
	209,75	3,29
Cm-244	42,82	0,025
	98,86	0,00136
	152,63	0,00102
Cm-245	41,97	0,370
	133,08	2,810
	175,05	9,830
Cm-246	44,55	0,030
	102,80	0,001
Cm-247	-	-
Cm-248	-	-
Co-60	1173,20	99,850
	1332,50	99,980
Cs-134	604,72	97,63
	795,86	85,47

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN		 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		


Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 197

Radionuklid	Energie [keV]	Emissionswahrscheinlichkeit [%]
	569,330	15,37
Cs-135	-	-
Cs-137	661,66	85,100
	283,50	0,00058
Eu-152	121,78	28,400
	344,28	26,590
	964,08	14,500
Eu-154	123,07	40,4
	1274,43	34,9
	723,30	20,05
Eu-155	86,54	30,7
	105,31	21,6
	45,30	1,31
Fe-55	125,95	0,00000013
H-3	-	-
Ho-166m	184,41	72,5
	810,29	57,3
	711,69	54,9
I-129	39,58	7,510
Kr-85	513,99	0,435
	151,18	0,0000022
	362,81	0,00000218
Mo-93	30,77	0,0005
Na-22	511,00	180,000
	1274,50	99,940
Nb-94	702,60	97,900
	871,10	99,900
Ni-59	511,00	0,000072
Ni-63	-	-
Np-237	29,37	14,300
	86,48	12,260
	94,64	0,660
Pa-231	27,37	10,800
	300,10	2,410
	302,67	2,300
Pa-234m	1001,03	0,847
	766,36	0,323
	742,81	0,094
Pb-210	46,54	4,250
Pb-211	404,93	3,83
	831,98	3,5
	427,15	1,81
Pb-214	351,93	35,6
	295,22	18,41
	241,99	7,268
Pd-107	-	-
Pm-147	121,22	0,00272
	197,30	0,00000033
	76,07	0,00000011
Po-208	-	-
Po-210	803,05	0,00123
Po-214	799,70	0,0104
	298,00	0,000052
Po-215	438,90	0,058
Po-218	936,00	0,0011



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 198


Radionuklid	Energie [keV]	Emissionswahrscheinlichkeit [%]
Pu-238	43,50	0,0397
	99,85	0,00735
	152,72	0,00093
Pu-239	12,98	0,030
	51,60	0,030
Pu-240	45,24	0,0462
	104,23	0,00714
	160,31	0,0004045
Pu-241	148,57	0,0001863
	103,68	0,000103
	77,01	0,0000207
Pu-242	44,92	0,0384
	103,50	0,00253
	158,80	0,000298
Pu-244	-	-
Ra-223	-	-
Ra-226	186,20	3,560
	262,27	0,006
	600,66	0,001
Ra-228	12,88	0,300
	13,52	1,600
Rb-87	-	-
Rn-219	271,23	11,07
	401,81	6,75
	130,58	0,133
Rn-222	510,00	0,076
Sb-125	427,87	29,55
	600,60	17,76
	635,95	11,32
Se-79	-	-
Sm-151	21,54	0,0324
Sn-126	64,28	9,600
Sr-90	-	-
Tc-99	89,52	0,00058
Th-227	235,96	12,6
	84,37	1,900
Th-228	131,61	0,130
	215,99	0,246
	-	-
Th-230	67,67	0,38
	143,87	0,049
	253,73	0,011
Th-231	25,64	13,9
	84,21	6,7
	89,95	1,01
Th-232	63,81	0,260
	140,88	0,020
Th-234	63,30	3,75
	92,38	2,18
	92,80	2,15
Tl-204	-	-
Tl-207	897,77	0,263
	569,70	0,00185
	328,10	0,00142
U-232	57,75	0,200

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 199

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Radionuklid	Energie [keV]	Emissionswahrscheinlichkeit [%]
	129,06	0,070
	270,25	0,003
U-233	0,01	2,1
	42,43	0,072
	97,13	0,0203
U-234	53,20	0,1253
	120,90	0,0386
	454,96	0,000025
U-235	185,72	57
	143,77	10,94
	163,36	5,08
U-236	49,46	0,081
	112,79	0,0195
	171,50	0,000065
U-238	49,55	0,0697
	113,50	0,0174
Y-90	2186,25	0,0000014
Zr-93	30,77	0,00043



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 200

#### Anhang 4


Restriktivste Grenzwerte in Bq für das Endlager Konrad [27] Anhang II, Tabellen 2 bis 10.

Die Werte in den Spalten für Tabellen 2-8, Anhang II der EBK [27] stellen jeweils die Minima für die in diesen Tabellen der EBK angegebenen Spaltenwerte für die jeweiligen Nuklide dar.

Die Kennzeichnung (\*) für einzelne Nuklide bedeutet, dass diese die in Tabelle 10, Anhang II der EBK zusätzlichen Radionuklide darstellen, welche in der ASSEKAT aufgeführt sind (insgesamt 4). Für diese gelten entsprechend EBK die  $10^{-4}$ -fachen Grenzwerte für sonstige  $\alpha$ - und  $\beta/\gamma$ -Strahler bezüglich der Tabellen 3 und 5. Anhang II, EBK.

Die Kennzeichnung (\*\*) für Tabelle 8, Anhang II der EBK gibt die Grenzwerte definitionsgemäß als Gesamtaktivität und nicht pro Gebinde an, wie in den anderen Tabellen. Da eine genaue Gebindezahl nicht feststeht, lassen sich keine klar definierten Werte darstellen. Zudem handelt es sich um keine festen Grenzwerte, sondern um solche Werte, die im Mittel über alle Gebinde zu erfüllen sind (es dürfen also auch höhere Befüllungen in begrenzten Fällen stattfinden). Unter Annahme einer realistischen Größenordnung von 50.000 Gebinden im Endlager Konrad wurden hier die Werte pro Gebinde dargestellt und für die weiteren Betrachtungen verwendet. Die dort angegebenen Werte für „Gesamt  $\alpha$ - und  $\beta/\gamma$ -Strahler“ wurden ferner aufgrund der o.g. schwierigen Vergleichbarkeit hier nicht in die Betrachtung aufgenommen.

Nuklid	Sicherheits-analyse bestim. Betr. [Bq]	Störfall-analyse [Bq]	Therm. Beeinfl. Wirtsgestein [Bq]	Kritikalitäts- sicherheit [Bq]	Maximal einlagerbare Aktivitäten [Bq]	Minimum [Bq]
	Tabelle 2	Tabelle 3+4	Tabelle 5+6	Tabelle 7	Tabelle 8*	
H-3	3,00E+09	2,10E+14	5,80E+14		1,20E+13	3,00E+09
Be-10		8,60E+11	8,30E+11			8,30E+11
C-14	1,80E+08	1,00E+12	7,20E+12		8,00E+09	1,80E+08
Na-22		2,30E+09	2,30E+12			2,30E+09
Cl-36		6,00E+09	8,30E+11			6,00E+09
Ca-41		1,60E+10	5,40E+11			1,60E+10
Fe-55		1,40E+13	9,40E+14			1,40E+13
Co-60		5,00E+09	1,70E+12			5,00E+09
Ni-59		7,60E+11	3,10E+13			7,60E+11
Ni-63		7,00E+11	2,40E+13			7,00E+11
Se-79		7,00E+08	5,60E+12			7,00E+08
Kr-85	3,00E+10	2,10E+16	1,40E+13			3,00E+10
Rb-87		3,40E+09	1,20E+12			3,40E+09
Sr-90		8,60E+08	1,00E+13			8,60E+08
Y-90 (wie Sr-90)		8,60E+08	1,00E+13			8,60E+08
Zr-93		2,40E+11	1,60E+13			2,40E+11
Nb-94		1,10E+09	1,60E+11			1,10E+09
Mo-93		7,60E+10	2,50E+13			7,60E+10
Tc-99		5,40E+10	2,50E+12			5,40E+10
Pd-107		1,10E+12	1,70E+13			1,10E+12
Ag-108m		9,60E+08	8,30E+11			9,60E+08
Cd-113m		7,30E+08	1,10E+13			7,30E+08
Sn-126		7,30E+08	1,10E+12			7,30E+08
Sb-125		3,60E+10	8,00E+12			3,60E+10
I-129	1,90E+07	4,30E+08	2,20E+12		1,40E+07	1,40E+07
Cs-134		1,90E+10	3,50E+12			1,90E+10
Cs-135		9,10E+10	3,00E+12			9,10E+10
Cs-137		5,10E+09	2,80E+12			5,10E+09
Ba-133		1,40E+10	6,60E+12			1,40E+10
Pm-147		6,40E+12	9,10E+13			6,40E+12
Sm-151		1,20E+13	8,20E+13			1,20E+13


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.		 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 201

Nuklid	Sicherheits- analyse bestim. Betr. [Bq]	Störfall- analyse [Bq]	Therm. Beeinfl. Wirtsgestein [Bq]	Kritikalitäts- sicherheit [Bq]	Maximal einlagerbare Aktivitäten [Bq]	Minimum [Bq]
	Tabelle 2	Tabelle 3+4	Tabelle 5+6	Tabelle 7	Tabelle 8*	
Eu-152		4,40E+09	2,50E+12			4,40E+09
Eu-154		6,30E+09	2,50E+12			6,30E+09
Eu-155		2,10E+11	3,60E+13			2,10E+11
Ho-166m (*)		5,10E+05	2,10E+08			5,10E+05
Tl-204 (*)		5,10E+05	2,10E+08			5,10E+05
Tl-207		5,10E+09	2,10E+12			5,10E+09
Pb-210		1,40E+08	4,70E+11			1,40E+08
Pb-211		5,10E+09	2,10E+12			5,10E+09
Pb-214		5,10E+09	6,60E+14			5,10E+09
Bi-210		5,10E+09	6,40E+13			5,10E+09
Bi-211		8,30E+08	4,00E+10			8,30E+08
Bi-214		5,10E+09	3,50E+13			5,10E+09
Po-208		8,30E+08	4,00E+10			8,30E+08
Po-210		7,00E+09	2,10E+12			7,00E+09
Po-214		8,30E+08	4,00E+10			8,30E+08
Po-215		8,30E+08	4,00E+10			8,30E+08
Po-218		8,30E+08	4,00E+10			8,30E+08
Rn-219		8,30E+08	4,00E+10			8,30E+08
Rn-222		8,30E+08	9,80E+12			8,30E+08
Ra-223		1,30E+10	3,00E+12			1,30E+10
Ra-226	9,00E+06	6,30E+07	1,50E+10		8,00E+07	9,00E+06
Ra-228		7,30E+08	1,20E+11			7,30E+08
Ac-227		5,10E+07	8,10E+10			5,10E+07
Ac-228		5,10E+09	5,20E+13			5,10E+09
Th-227		1,10E+10	1,60E+12			1,10E+10
Th-228		7,00E+08	1,70E+11			7,00E+08
Th-229 (*)		8,30E+04	4,00E+06			8,30E+04
Th-230		8,30E+08	6,10E+09			8,30E+08
Th-231		5,10E+09	8,00E+14			5,10E+09
Th-232		1,40E+08	4,30E+09		1,00E+07	1,00E+07
Th-234		2,10E+12	1,80E+13			2,10E+12
Pa-231		6,00E+07	6,50E+09			6,00E+07
Pa-234m		5,10E+09	9,10E+13			5,10E+09
U-232		3,10E+08	4,10E+10			3,10E+08
U-233		2,10E+09	5,70E+09	1,30E+10		2,10E+09
U-234		2,30E+09	8,30E+09			2,30E+09
U-235		2,40E+09	4,70E+09	4,00E+06	4,00E+06	4,00E+06
U-236		2,30E+09	4,00E+10		2,00E+07	2,00E+07
U-238		2,40E+09	1,70E+10		3,80E+07	3,80E+07
Np-237		2,10E+08	1,10E+10			2,10E+08
Pu-238		8,90E+08	2,80E+11			8,90E+08
Pu-239		8,30E+08	5,10E+10	6,40E+10	4,00E+10	8,30E+08
Pu-240		8,30E+08	6,50E+10			8,30E+08
Pu-241		1,70E+10	4,30E+12	5,30E+13	4,00E+12	1,70E+10
Pu-242		8,60E+08	4,10E+10			8,60E+08
Pu-244		8,60E+08	1,50E+10			8,60E+08
Am-241		7,60E+08	6,60E+11			7,60E+08
Am-242m		7,00E+08	1,20E+11			7,00E+08
Am-243		7,60E+08	2,50E+11			7,60E+08
Cm-243		1,20E+09	1,90E+12			1,20E+09
Cm-244		1,40E+09	2,40E+12			1,40E+09
Cm-245		7,30E+08	2,90E+10			7,30E+08
Cm-246		7,60E+08	3,10E+11			7,60E+08



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN		 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 202

Nuklid	Sicherheits- analyse bestim. Betr. [Bq]	Störfall- analyse [Bq]	Therm. Beeinfl. Wirtsgestein [Bq]	Kritikalitäts- sicherheit [Bq]	Maximal einlagerbare Aktivitäten [Bq]	Minimum [Bq]
	Tabelle 2	Tabelle 3+4	Tabelle 5+6	Tabelle 7	Tabelle 8*	
<b>Cm-247</b>		8,60E+08	1,10E+10			8,60E+08
<b>Cm-248</b>		1,30E+08	9,70E+09			1,30E+08
<b>Cf-249 (*)</b>		8,30E+04	4,00E+06			8,30E+04
<b>Sonstige α-Strahler</b>	1,90E+14	8,30E+08	4,00E+10			8,30E+08
<b>Sonstige β/γ Strahler</b> -	3,70E+13	5,10E+09	2,10E+12			5,10E+09


Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr NNNN	Rev NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00
 <b>BUNDESGESellschaft FÜR ENdLAGERUNG</b>								Blatt: 203
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -								

## Anhang 5

Vergleich des nuklidspezifischen Gesamtinventars aller relevanten Nuklide pro ELK aus der ASSEKAT [56] mit den restriktivsten Grenzwerten aus den Endlagerungsbedingungen Konrad (s. Anhang 4).  
Für die Hintergründe zu dieser Tabelle wird auf Kapitel 6.6.2 verwiesen. Die abgestufte Farbskala von grün nach rot gibt an, ob und in welchem Grad das Verhältnis des Gesamtinventars ELK zu dem restriktivsten Grenzwert der EBK pro ELK überschritten wird. Bei leeren Feldern ist jeweils zu diesem Nuklid in dieser ELK in der ASSEKAT entweder eine Aktivität von 0 Bq berechnet oder (z. B. aufgrund unzureichender Datenlage in der ASSEKAT) kein Aktivitätswert erfasst worden.

Nuklid	Log10 des Verhältnisses „Gesamtinventar ELK / restriktivster Grenzwert EBK“ pro ELK												
	1/750	10/750	11/750	12/750	2/750	2/750mNA2	4/750	5/750	6/750	7/725	7/750	8/750	8a/511
H-3	-3,4	-3,6	-3,1	-3,5	-4,5	-4,0	-2,2	-3,9	-2,5	-3,7	-2,4	-3,3	-2,0
Be-10	-13,7	-13,4	-12,5	-12,8				-12,8	-12,6	-13,1	-12,3		-11,4
C-14	-1,4	-1,3	-0,3	-0,9	-1,3	-1,2	-1,6	-0,8	-0,6	-1,5	-0,7	-0,9	0,0
Na-22			-8,3	-7,4	-7,4	-9,2		-7,8		-8,7			
Cl-36	-5,2	-5,3	-3,8	-4,6	-5,0	-5,2	-5,9	-4,3	-4,4	-5,4	-4,6	-5,3	-4,7
Ca-41	-9,0	-9,0	-7,6	-8,3	-8,7	-9,1	-9,6	-8,0	-8,0	-9,3	-7,9	-9,0	-5,4
Fe-55	-11,3	-11,0	-9,5	-10,6	-11,1	-10,9	-11,8	-10,1	-9,3	-11,2	-9,4	-11,1	-7,2
Co-60	-4,3	-4,3	-2,9	-3,9	-3,9	-4,3	-5,0	-3,6	-2,4	-4,4	-3,1	-4,5	-1,0
Ni-59	-6,8	-7,0	-5,5	-6,4	-7,5	-8,3		-6,5	-5,1	-7,1	-5,2	-7,6	-2,8
Ni-63	-3,7	-3,7	-2,4	-3,2	-3,5	-3,8	-4,0	-2,9	-2,6	-4,1	-2,9	-3,9	-0,7
Se-79	-5,3	-5,4	-4,1	-4,8	-5,4	-5,9	-6,3	-4,8	-3,8	-5,4	-3,6	-5,8	-2,9
Kr-85	-11,5	-11,5	-9,6	-1,8	-11,5	-11,4		-10,4	-10,0	-10,8	-9,1	-11,0	-8,5
Rb-87	-10,0	-9,9	-8,9	-9,4	-10,0	-10,5	-9,9	-9,3	-8,7	-9,9	-8,4	-10,2	-7,9
Sr-90	-0,6	-0,8	0,2	-0,2	-1,1	-2,0	-3,1	-0,6	0,7	-1,0	1,0	-1,5	1,6
Y-90	-0,6	-0,8	0,2	-0,2	-1,1	-2,0	-3,1	-0,6	0,7	-1,0	1,0	-1,5	1,6
Zr-93	-6,8	-6,9	-5,5	-6,3	-7,3	-8,4		-6,5	-5,0	-7,1	-5,2	-7,6	-2,8
Nb-94	-3,8	-3,8	-2,6	-3,2	-3,6	-4,0	-4,1	-3,1	-2,8	-4,2	-2,9	-3,8	-1,1
Mo-93	-8,2	-8,4	-6,9	-7,8	-8,9	-9,7		-7,9	-6,5	-8,5	-6,6	-9,0	-4,1



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNN	Funktion/Thema NVA4ANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN
9A	23420000				MAK	RB	0002	00
 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>								
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -								Blatt: 204

Nuklid	Log10 des Verhältnisses „Gesamtinventar ELK / restriktivster Grenzwert EBK“ pro ELK													
	1/750	10/750	11/750	12/750	2/750	2/750mNA2	4/750	5/750	6/750	7/725	7/750	8/750	8a/511	
Tc-99	-5,1	-4,7	-4,5	-4,8	-5,8	-5,3		-5,4	-3,9	-5,3	-3,8	-6,1	-3,3	
Pd-107	-8,7	-8,9	-8,0	-8,3	-9,3	-10,3		-8,9	-7,3	-9,1	-7,2	-9,6	-6,8	
Ag-108m	-4,3	-4,2	-3,0	-3,8	-4,0	-4,1	-4,6	-3,3	-3,3	-4,5	-3,5	-4,3	-2,6	
Cd-113m	-4,5	-4,5	-3,2	-4,0	-4,5	-4,7	-5,0	-3,7	-3,1	-4,6	-2,9	-4,8	-2,3	
Sn-126	-5,0	-5,1	-4,1	-4,5	-5,2	-5,8	-5,9	-4,7	-3,7	-5,3	-3,5	-5,5	-2,8	
Sb-125	-9,4	-9,3	-7,6	-8,7	-9,5	-9,5	-10,4	-8,5	-7,1	-9,3	-7,2	-9,5	-4,8	
I-129	-4,6	-4,7	-3,5	-4,1	-4,7	-5,3	-5,6	-4,2	-3,2	-4,9	-3,0	-5,2	-2,4	
Cs-134	-10,6	-10,6	-8,8	-10,1	-10,5	-10,7	-10,8	-9,7	-8,7	-10,3	-8,0	-10,5	-7,9	
Cs-135	-7,1	-7,1	-6,2	-6,6	-7,6	-8,6		-7,2	-5,5	-7,4	-5,5	-7,8	-5,1	
Cs-137	-1,2	-1,3	-0,1	-0,7	-1,0	-1,9	-2,3	-0,8	0,2	-1,4	0,4	-1,7	1,0	
Ba-133		-3,5	-5,1	-3,1		-4,6		-3,5				-2,6		
Pm-147	-10,5	-10,2	-9,3	-9,7	-10,7	-9,5		-10,3	-8,3	-10,6	-8,4	-10,9	-8,2	
Sm-151	-6,2	-6,1	-5,4	-5,5	-6,6	-7,9		-6,4	-4,6	-6,7	-4,7	-6,8	-4,3	
Eu-152	-6,2	-6,3	-5,3	-5,6	-6,6	-7,4	-8,2	-6,1	-4,4	-6,5	-4,4	-7,0	-3,9	
Eu-154	-4,2	-4,6	-3,0	-4,0	-4,7	-5,5	-6,4	-3,9	-2,8	-4,2	-2,2	-4,9	-1,6	
Eu-155	-7,4	-7,4	-6,2	-6,8	-7,8	-8,7		-7,2	-5,6	-7,5	-5,4	-8,0	-5,1	
Ho-166m	-5,5	-5,8	-4,2	-5,3	-6,1	-6,7		-5,2	-4,2	-5,4	-3,5	-5,9	-3,1	
Tl-204			-2,0			0,3		-2,0				-1,0		
Tl-207	-11,1	-3,9	-9,9	-5,3	-10,6	-4,4		-10,0	-10,3	-10,8	-10,2	-4,2	-9,2	
Pb-210	-0,6	-1,0	-2,1	-1,7	-1,1	0,0	-1,3	-1,5	-1,7	-1,3	-1,8	-2,1	-6,1	
Pb-211	-11,1	-3,9	-9,9	-5,3	-10,6	-4,4		-10,0	-10,3	-10,8	-10,2	-4,2	-9,2	
Pb-214	-1,4	-1,4	-2,3	-1,5	-1,4	-1,3	-2,8	-1,2	-2,2	-1,4	-2,3	-1,8	-9,6	
Bi-210			-2,4			-3,0		-2,6		-1,5		-2,5		
Bi-211	-10,3	-3,1	-9,1	-4,5	-9,8	-3,6		-9,2	-9,6	-10,0	-9,4	-3,4	-8,4	
Bi-214	-1,4	-1,4	-2,3	-1,5	-1,4	-1,3	-2,8	-1,2	-2,2	-1,4	-2,3	-1,8	-9,6	
Po-208						-6,8								



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	JA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BGE</b> BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuziehenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 205

Nuklid	Log10 des Verhältnisses „Gesamtinventar ELK / restriktivster Grenzwert EBK“ pro ELK													
	1/750	10/750	11/750	12/750	2/750	2/750mNA2	4/750	5/750	6/750	7/725	7/750	8/750	8a/511	
Po-210			-2,6			-3,2		-2,7		-1,6		-2,7		
Po-214	-0,6	-0,6	-1,5	-0,7	-0,6	-0,5	-2,0	-0,4	-1,4	-0,6	-1,5	-1,1	-8,8	
Po-215	-10,3	-3,1	-9,1	-4,5	-9,8	-3,6		-9,2	-9,6	-10,0	-9,4	-3,4	-8,4	
Po-218	-0,6	-0,6	-1,5	-0,7	-0,6	-0,5	-2,0	-0,4	-1,4	-0,6	-1,5	-1,1	-8,8	
Rn-219	-10,3	-3,1	-9,1	-4,5	-9,8	-3,6		-9,2	-9,6	-10,0	-9,4	-3,4	-8,4	
Rn-222	-0,6	-0,6	-1,5	-0,7	-0,6	-0,5	-2,0	-0,4	-1,4	-0,6	-1,5	-1,1	-8,8	
Ra-223	-11,5	-4,3	-10,3	-5,7	-11,0	-4,8		-10,4	-10,7	-11,2	-10,6	-4,6	-9,6	
Ra-226	0,2	-0,2	-1,0	-0,7	-0,4	0,3	-0,5	-0,7	-0,5	-0,6	-0,5	-1,0	-4,7	
Ra-228	-1,7	-1,2	-1,4	-1,3	-1,4	-2,0	-0,3	-2,3	-2,2	-0,8	-9,9	-0,7	-2,8	
Ac-227	-4,3	-2,3	-5,7	-3,8	-6,2	-2,7	-3,7	-6,0	-6,4	-4,4	-6,2	-3,7	-5,4	
Ac-228	-4,3			-5,2		-4,1	-4,5	-4,8		-4,6				
Th-227	-11,4	-4,2	-10,2	-5,6	-11,0	-4,7		-10,3	-10,7	-11,2	-10,5	-4,5	-9,5	
Th-228	-2,4	-2,0	-2,0	-1,8	-2,1	-2,8	-1,2	-3,2	-2,9	-2,2	-4,5	-1,4	-3,6	
Th-229	-4,0	-3,1	-4,6	-1,1	-5,0	-0,8		-3,2	-5,6	-1,2	-4,8	-3,4	-0,3	
Th-230	-2,9	-2,5	-2,5	-2,4	-2,7	-3,4	-1,9	-4,0	-6,2	-2,9	-5,9	-1,9	-5,1	
Th-231	-3,2	-4,2	-4,5	-4,4	-5,2	-4,1	-2,6	-4,8	-5,3	-3,6	-5,0	-3,3	-3,9	
Th-232	0,2	0,6	0,5	0,6	0,5	-0,2	1,6	-0,4	-0,4	1,0	-8,1	1,2	-0,9	
Th-234	-4,5	-5,5	-5,9	-5,7	-6,3	-5,1	-3,9	-6,2	-6,4	-4,9	-6,3	-4,6	-5,4	
Pa-231	-4,2	-2,9	-5,5	-5,5	-6,0	-3,0	-3,5	-5,8	-6,3	-4,3	-6,0	-4,0	-5,3	
Pa-234m	-1,9	-2,9	-3,2	-3,0	-3,7	-2,5	-1,2	-3,6	-3,8	-2,3	-3,7	-2,0	-2,8	
U-232	-4,3	-4,1	-4,1	-5,7	-5,3	-5,0	-7,5	-4,1	-5,4	-3,5	-4,2	-5,3	-3,4	
U-233	-6,5	-6,8	-6,9	-3,5	-7,5	-4,8	-10,5	-5,8	-8,0	-4,0	-7,0	-6,4	-2,6	
U-234	-1,5	-2,5	-2,6	-2,7	-3,2	-2,2	-0,9	-2,9	-3,4	-1,8	-3,0	-1,6	-2,1	
U-235	-0,1	-1,1	-1,4	-1,3	-2,1	-1,0	0,5	-1,7	-2,2	-0,5	-1,9	-0,2	-0,8	
U-236	-0,6	-0,3	-1,0	-1,6	-1,5	-0,4		-0,8	-2,0	0,0	-1,4	-1,2	-0,8	
U-238	0,2	-0,8	-1,1	-0,9	-1,6	-0,4	0,9	-1,5	-1,7	-0,1	-1,5	0,1	-0,6	



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA MAK	UA AA RB	Lfd Nr. NNNN 0002	Rev. NN 00
9A	23420000							

**BGE**  
BUNDESGESellschaft  
FÜR ENDLagerung

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -


Blatt: 206

Nuklid	Log10 des Verhältnisses „Gesamtinventar ELK / restriktivster Grenzwert EBK“ pro ELK												
	1/750	10/750	11/750	12/750	2/750	2/750mNA2	4/750	5/750	6/750	7/725	7/750	8/750	8a/511
Np-237	-3,4	-5,0	-3,5	-3,7	-3,4	-5,0	-5,9	-3,8	-3,5	-3,6	-2,9	-4,2	-2,4
Pu-238	0,1	-1,5	0,1	-0,5	0,2	-1,1	-5,2	0,2	-0,5	0,5	0,7	-0,3	1,2
Pu-239	0,2	-1,6	0,1	0,1	0,4	-1,2	-5,6	0,0	-0,1	0,1	0,3	-0,5	1,1
Pu-240	0,2	-1,6	0,1	0,2	0,5	-1,2	-5,3	0,1	0,0	0,2	0,5	-0,5	1,1
Pu-241	-0,1	-1,9	-0,2	-0,3	0,1	-1,4	-5,6	-0,2	-0,4	0,0	0,3	-0,7	0,8
Pu-242	-2,7	-4,3	-2,7	-3,0	-2,5	-3,9	-7,4	-2,6	-2,9	-2,3	-2,2	-3,1	-1,6
Pu-244	-9,2	-9,6	-9,0	-9,8	-9,1	-9,0		-8,7	-9,7	-8,2	-8,7	-8,4	-8,1
Am-241	0,8	-1,1	0,6	0,4	0,9	-0,7	-4,4	0,5	0,5	0,7	1,2	0,1	1,4
Am-242m	-4,6	-4,9	-3,6	-4,3	-5,2	-5,8	-6,7	-4,3	-3,0	-4,7	-2,7	-5,3	-2,1
Am-243	-4,1	-4,5	-2,8	-4,1	-4,8	-5,3		-3,8	-2,7	-3,9	-2,1	-4,6	-1,6
Cm-243	-5,1	-5,6	-3,7	-5,4	-5,8	-6,2		-4,6	-3,8	-4,8	-3,0	-5,4	-2,5
Cm-244	-4,1	-4,4	-2,4	-4,3	-4,6	-5,1	-6,5	-3,3	-2,8	-3,5	-1,7	-4,3	-1,0
Cm-245	-7,1	-7,4	-5,2	-7,5	-7,6	-7,9	-8,8	-6,2	-6,0	-6,4	-4,5	-7,1	-3,9
Cm-246	-7,3	-7,3	-5,1	-8,1	-7,8	-7,9	-9,6	-6,1	-6,5	-6,3	-4,4	-7,0	-3,8
Cm-247			-9,8								-9,8		-8,8
Cm-248			-8,8								-8,7		-7,9
Cf-249			-5,2					-5,8		-6,1	-4,9		-4,4

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

Blatt: 207


**BUNDEGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

## Anhang 6

Messverfahren der Messkategorie B, die im Rahmen der Konzeptplanung nicht berücksichtigt werden:

### Streifenprojektions- und Laser-3D-Scan

Zur Vermessung und dreidimensionalen Abbildung der Oberfläche des rückgeholten radioaktiven Abfalls stehen verschiedene optische Technologien zur Verfügung, insbesondere der Streifenprojektions-Scan und Laser-3D-Scan-Methoden. Diese erzeugen ein dreidimensionales Abbild des vermessenen Rohabfalls und können somit z. B. verlässlich die Behälter- und andere Rohabfalldimensionen erfassen und Formen bzw. Verformungen sowie andere Details der Oberfläche sichtbar machen, die mit einer fotografischen Kameraaufnahme nicht eindeutig identifizierbar sind.

Bei der Streifenprojektion (auch Streifenlichtprojektion oder Strukturlichtscan genannt) wird Licht im optischen Bereich auf den Rohabfall projiziert, welches ein definiertes Farb- und/oder Helligkeitsstreifenmuster aufweist und das resultierende Bild wird durch eine oder mehrere Kameras aufgenommen. Durch die spezifische Oberfläche ergibt sich jeweils eine charakteristische Verformung des Streifenbilds, aus der auf die Oberflächenstruktur geschlossen und ein dreidimensionales Abbild erzeugt wird. Beim Laser-3D-Scan werden Laserstrahlen genutzt, um entweder den Abstand zwischen Sensor und Oberflächenpunkte durch Lichtlaufzeitmessung zu bestimmen, oder diesen durch Triangulation von Lichtmessungen zu bestimmen. Auch hier wird ein dreidimensionales Abbild erzeugt.

Die Streifenprojektionsmethode und der Laser-3D-Scan werden im Rahmen der Konzeptplanungen nicht weiter berücksichtigt, da sie insbesondere in Bezug auf die zur Endlagerung geforderten Informationen keinen Mehrwert bieten. Sofern Informationen zur Abmessung des Abfalls allerdings im Rahmen der weiteren Planungen als erforderlich erachtet werden oder auch für die Datenauswertung (z. B. zur Berücksichtigung der Absorption) erhoben werden sollen, können diese Messstationen entsprechend vorgesehen werden.


### Röntgendurchstrahlung

Mit der Röntgendurchstrahlung kann ein Abbild der inneren Struktur der Gebinde erzeugt werden, ähnlich wie dies im medizinischen Bereich oder in der Sicherheitstechnik (am Flughafen, bei LKW-Ladungen etc.) praktiziert wird. Dadurch kann die Dichteverteilung im Gebinde untersucht werden, insbesondere um

- die Homogenität, Füllhöhe bzw. Abfallverteilung zu bestimmen,
- Informationen über den enthaltenen Abfalltyp zu erhalten und falls verfügbar mit anderen Informationen abzugleichen,
- die innere Struktur bezüglich Strahlungsabsorption und -abschirmung zu erfassen (diese ist insbesondere für die Aktivitätsbestimmung von großer Bedeutung. Sollte die Abschirmung so stark sein, dass die Röntgendurchstrahlung sie nicht effektiv durchdringen kann, ist zumindest die wichtige Information der Anwesenheit einer solchen Abschirmung bekannt),
- zu prüfen, ob freie Flüssigkeiten (z. B. Öle oder andere leicht entzündbare Flüssigkeiten) in der Abfallmatrix enthalten sind, die sich als abgrenzbare Bereiche gleicher Dichte identifizieren lassen.

Als Erweiterung kommt auch die Computertomographie (CT) in Frage. Dabei handelt es sich um eine Röntgenuntersuchungsmethode, die eine detaillierte dreidimensionale Darstellung der inneren Struktur des rückgeholten radioaktiven Abfalls erzeugen kann. Mit der Röntgendurchstrahlungsmethode können nur zweidimensionale Bilder erstellt werden. Ferner muss (auch bei der CT) der Dichteunterschied zwischen den jeweiligen Inhalten des Gebindes hinreichend groß sein, um diesen auf den Bildern differenziert darstellen zu können.




Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	 BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									Blatt: 208

### Weitere mechanische Untersuchungen

Gegebenenfalls können weitere mechanische Kraftmessungen in verschiedenen Gebindepositionen bzw. -ausrichtungen durchgeführt werden, um Informationen über die Gewichts- und Dichteverteilung im Fass abzuleiten und daraus Rückschlüsse über die Heterogenität des rückgeholtten radioaktiven Abfalls zu ziehen (d. h. Bestimmung von Gebindeschwerpunkt, Kippmomenten, Massenträgheitsmomenten, usw.). Auch Rotationsversuche zur Bestimmung von Unwuchten, mechanische Zugversuche, etc. sind möglich, aber deren Nutzen stellt sich im Vergleich zum Aufwand begrenzt dar. Diese Techniken sind weniger aussagekräftig als insbesondere die bildgebenden Verfahren, werden aber der Vollständigkeit halber hier ebenfalls genannt. Die Durchführung dieser Messungen wird mit marktüblichem mechanischem Wäge-/Kraftmess- und Handierungsequipment durchgeführt.

Die Messzeiten liegen im Bereich von Sekunden (insb. Wägung) bis Minuten.

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -									 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>
									Blatt: 209


## Anhang 7

Messverfahren der Messkategorie D, die im Rahmen der Konzeptplanung nicht berücksichtigt werden:

### Kalorimetrische Messung der Zerfallsenergie und/oder -wärme

Absolutmessungen lassen sich mit Kalorimetern durchführen. Diese messen die Gesamtenergie der emittierten Strahlung, die Zerfallswärme oder beides, indem die Erwärmung eines Körpers durch die Strahlung bestimmt wird. Der Effekt ist relativ gering (Beispiel: Durch die absorbierte Energiedosis von 1 Gy erhöht sich die Temperatur von 1 Liter Wasser um 0,24 mK, von 1 kg Graphit um 1,4 mK). Daher wird dieses Verfahren vor allem zur Messung sehr hoher Dosisleistungen (d. h. bei hochaktiven Abfällen) genutzt und kann grundsätzlich auch für die Anwendung in Messkategorie A in Frage kommen. Dies bietet aber insbesondere bei LAW-Abfällen keinen sinnvollen Nutzen. Es ist zudem auch nur die Gesamtaktivitäts- bzw. Wärmemessung und kein Rückschluss auf einzelne Nuklide möglich.



Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAAAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	 <b>BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG</b>	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00		
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -										

## Anhang 8

Darstellung einer grundsätzlichen Methodik zur Identifikation von ELK-spezifischen Nuklidvektoren aus ASSEKAT-Daten:

### Einleitung

Wie in Kapitel 6.6.4 beschrieben, besteht die Möglichkeit zur Abschätzung von Aktivitäten schwer messbarer Nuklide über bekannte Kopplungsverhältnisse zu leicht messbaren bzw. bekannten Nukliden. Eine Basis für die Herleitung dieser Kopplungsverhältnisse können Nuklidvektoren sein, die mit entsprechender statistischer Genauigkeit aus den chargenspezifischen ASSEKAT-Informationen abgeleitet werden. Inwieweit dies aus den vorliegenden ASSEKAT-Daten möglich ist, muss (insbesondere aufgrund des Datenumfanges) durch eine genauere, statistische Analyse, welche die einzelnen Nuklide, ELK und die Nuklideigenschaften im Detail betrachtet, geklärt werden. Zur Überprüfung der sich daraus ergebenden Nuklidvektoren (d. h. fest annehmbaren Verhältnissen zwischen Einzelnukliden) sind dabei insbesondere

- Hintergrundinformationen zu Zerfallsketten,
- Zerfallsgleichgewichtszustände sowie
- die bekannte Nuklidzusammensetzung gemäß Abfallursprung und daraus ggf. anwendbare Schlussfolgerungen

mit einzubeziehen. Dabei sollte, soweit möglich, auch ein Abgleich mit der Originaldokumentation zu den Rohabfällen erfolgen.

Die Nuklidvektoren sind für die weitere Verwendung im Rahmen der schätzenden Verfahren zu verifizieren, bevor sie bei der Charakterisierung zur Anwendung kommen. Sofern bestimmte Schlüsselnuklide dieser Nuklidvektoren anteilig durch zerstörungsfreie Messungen (z. B. Gamma-spektrometrie) ermittelt werden können, können auf Basis der Ergebnisse die nicht messbaren Nuklide ohne aufwändigere Zusatzmessungen (wie z. B. Beprobung) bestimmt werden.

Auch wenn keine festen Nuklidverhältnisse über alle ELK zu erwarten sind, so werden sich dennoch mit einer gewissen statistischen Genauigkeit (wenn nötig, konservative) Aussagen über einzelne Nuklidverhältnisse treffen lassen, die einen wichtigen Beitrag zur effizienten Charakterisierung für bestimmte Nuklide liefern können. Generell bildet zudem eine solche Analyse eine wichtige unterstützende Grundlage für die Datenauswertung während der Charakterisierung, da hierdurch ermöglicht wird

- die Plausibilität der durch die Charakterisierung bestimmten Aktivitäten im Gesamtbild zu prüfen sowie
- die bekannten Verhältnisse in die Planung und Auswertung der Charakterisierung mit einzubeziehen.

Nachfolgend wird die durchzuführende statistische Analyse in ihren Grundzügen und anhand einiger Beispielbetrachtungen dargestellt. Die ausführliche Datenanalyse sollte als Bestandteil eines späteren detaillierteren Planungsschritts erfolgen.

Eine ähnliche Betrachtung könnte auch zur Ableitung von Stoffvektoren zur Anwendung kommen. Die Eignung einer solchen Analyse hängt dabei insbesondere von der Qualität und Belastbarkeit der verfügbaren stofflichen Daten ab.

### Vorgehen und exemplarische Betrachtung

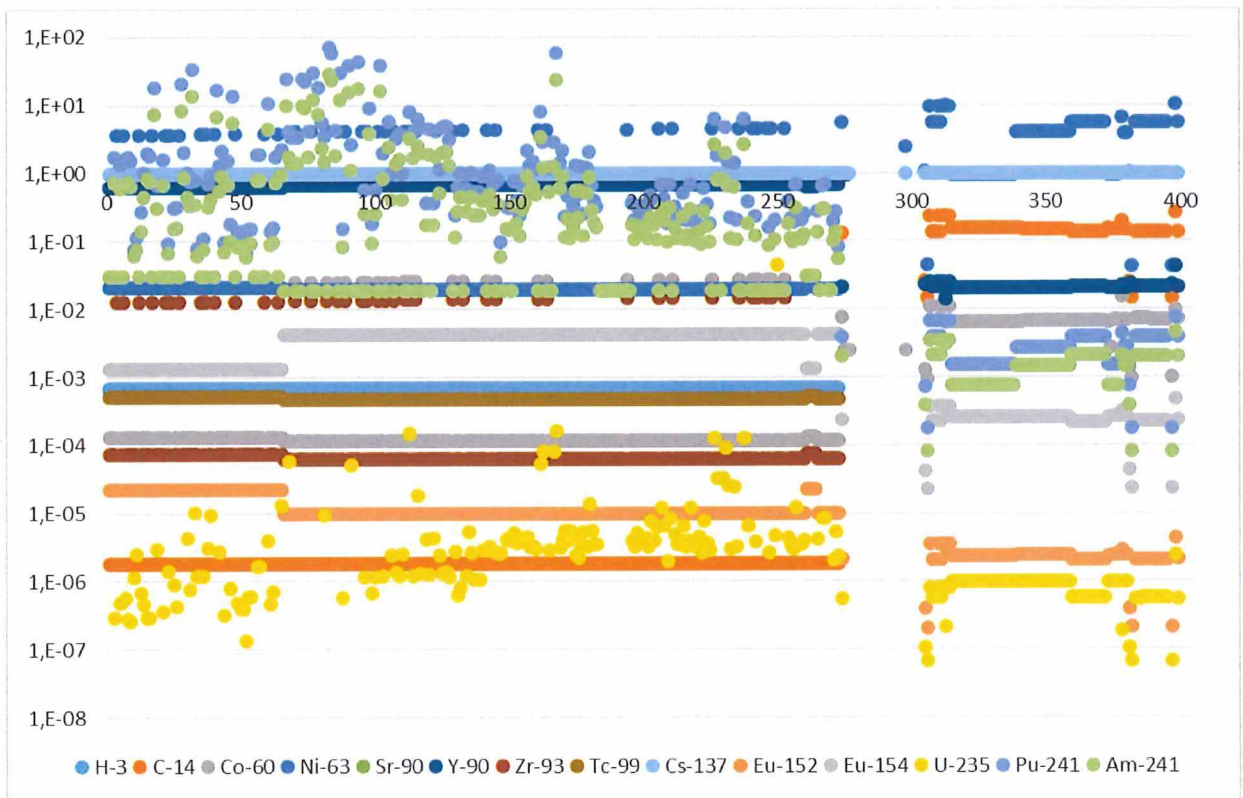
Die Grundlage für die Datenanalyse bildet die ASSEKAT. Im Folgenden wird dazu für ausgewählt Nuklide in zwei ELK eine exemplarische Analyse durchgeführt, deren Ergebnisse in Grafik 1 bis Grafik 4 dargestellt sind. Aufgrund der Datenmenge bietet sich jedoch für eine vollumfängliche Analyse in späteren Planungsschritten die Anwendung von Algorithmen zur Auswertung an.

Projekt NAAN	PSP-Element NNNNNNNNNN	Funktion/Thema NNAANN	Komponente AANNNA	Baugruppe AANN	Aufgabe AAAA	UA AA	Lfd Nr. NNNN	Rev. NN	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 211	
Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -										

- Betrachtung der chargenspezifischen Einträge der ausgewählten ELK
  - Für ELK 8a/511: wenige Einträge, viele Chargen bestehend aus einem Gebinde, MAW-Abfälle
  - Für ELK 7/750: wenige Einträge, LAW-Abfälle
- Darstellung in Form von mittlerer Chargenaktivität pro Gebinde (um Chargen unterschiedlicher Größe miteinander vergleichen zu können). Dies stellt lediglich eine erste, statistische Näherung dar. Für genauere Aussagen ist hier eine Unsicherheitsbetrachtung bzw. Betrachtung der statistischen Streuung durchzuführen.
- Auswahl eines Satzes an beispielhaft betrachteten Nukliden
  - typische sowohl leicht als auch schwer direkt messbare Nuklide
  - die Uran-Actinium-Reihe und weitere wichtige Transurane
- die Darstellung erfolgt als relatives Verhältnis, bezogen auf Cs-137 und Pa-231, um einen Vergleich der Verhältnisse anstelle der absoluten Zahlen zu ermöglichen (Nuklide sind frei wählbar, jedoch bieten sich hier möglichst repräsentative/gut messbare Nuklide an).

#### Bemerkungen:

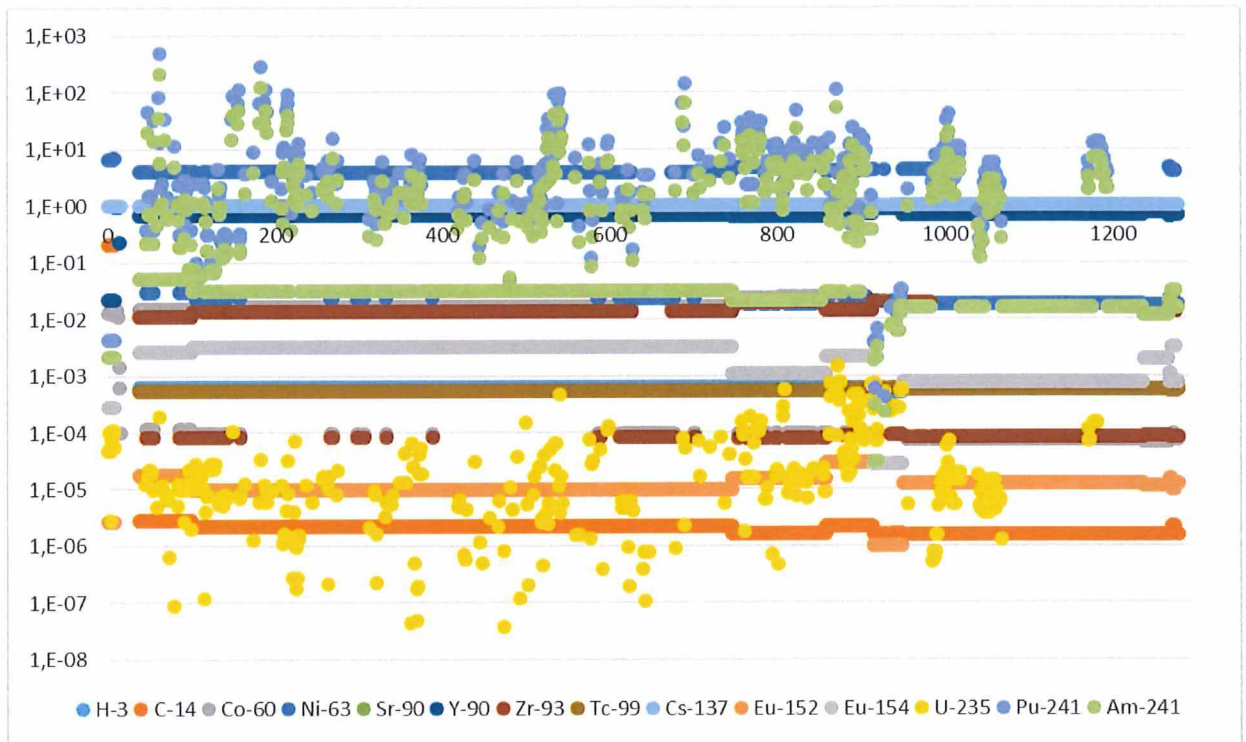
- Es ist zu beachten, dass eine logarithmische Darstellung in den Diagrammen gewählt wurde, um die teils sehr unterschiedlichen Größenordnungen der Aktivitätsverhältnisse erfassen zu können. Die optische Darstellung der Streuung kann somit von deutlich größerem Verhältnis sein, als dies auf den ersten Blick suggeriert wird.
- In den in Grafik 1 bis Grafik 4 dargestellten Diagrammen zeigt sich bei ELK 7/750 die Problematik, dass für manche Chargen keine Aktivitäten in der ASSEKAT berechnet werden konnten. Diese Problematik ist grundsätzlich bekannt und muss entsprechend behoben oder abdeckend in der Datenanalyse berücksichtigt werden.



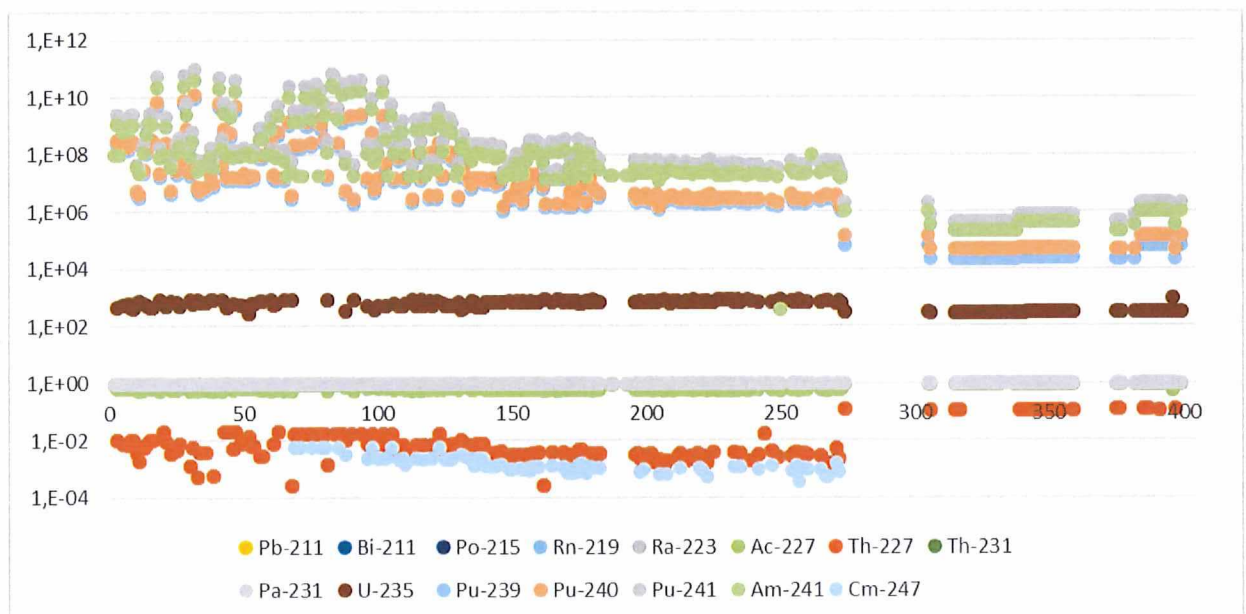
Grafik 1: Darstellung der mittleren Aktivitätsangaben pro Gebinde aus der ASSEKAT für alle Chargen-Nummern der ELK 7/750, für die Beispielnuklidenauswahl und normiert auf die jeweilige Gebinde-Aktivität von Cs-137.



Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -



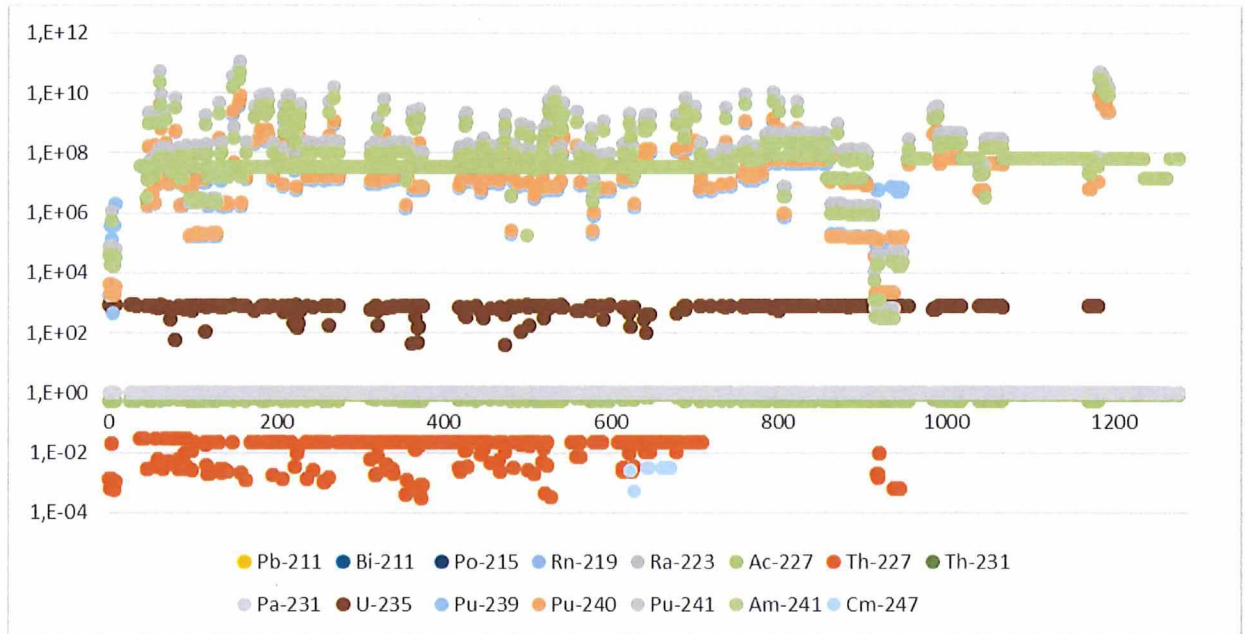
Grafik 2: Darstellung der mittleren Aktivitätsangaben pro Gebinde aus der ASSEKAT für alle Chargen-Nummern der ELK 8a/511, für die Beispielnuklidauswahl und normiert auf die jeweilige Gebinde-Aktivität von Cs-137.



Grafik 3: Darstellung der mittleren Aktivitätsangaben pro Gebinde aus der ASSEKAT für alle Chargen-Nummern der ELK 7/750, für die Uran-Actinium-Reihe und einige Transurane, normiert auf die jeweilige Gebinde-Aktivität von Pa-231.

KQM\_Textblatt\_REV11\_Stand-2018-04-16

Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	BGE BUNDESGESELLSCHAFT FÜR ENDLAGERUNG	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	Blatt: 213	



Grafik 4: Darstellung der mittleren Aktivitätsangaben pro Gebinde aus der ASSEKAT für alle Chargen-Nummern der ELK 8a/511, für die Uran-Actinium-Reihe und einige Transurane, normiert auf die jeweilige Gebinde-Aktivität von Pa-231.

### Diskussion der Ergebnisse

Für einige Nuklide treten gleiche Nuklidverhältnisse zum jeweiligen Schlüsselnuklid auf. Die Streuung ist dabei breit, von eng begrenzten bis weiter gefassten Bereichen. Es ist ebenfalls erkennbar, dass Datensätze mit gleichen/typischen Verhältnissen vorliegen (gleiche Nuklidvektoren aufgrund gleicher Einlagerungskampagnen oder Ablieferer).

Einige Nuklide mit erkennbar festen Verhältnissen spiegeln einen bestimmten Nuklidvektor gut wieder, während dies für andere Nuklide nur bedingt (mit sich mehrfach unterscheidenden Verhältnissen) bzw. nicht (bei sehr großer Streuung) zutrifft. Gerade für Nuklide der betrachteten Zerfallskette zeigt sich, dass feste Verhältnisse aufgrund eines Zerfallsgleichgewichts nur bedingt angenommen werden können und nuklid- bzw. fallweise genauer zu untersuchen sind.

Grundsätzlich kann für jeden Datensatz eine statistische Betrachtung vorgenommen werden, wie stark die Streuung (insbesondere nach oben) ist, d. h. inwiefern ein solches, generelles Verhältnis bei der Charakterisierung angesetzt werden kann, für das im statistischen Mittel die Ergebnisse noch hinreichend konservativ unter dem erhaltenen Wert liegen. Als einfaches Beispiel könnte der höchste Wert des Datensatzes konservativ als Verhältniswert für den Nuklidvektor angesetzt werden und damit zwar viele Aktivitätsergebnisse überschätzen, aber sicherstellen, dass sie unterhalb des höchsten Wertes liegen.

### Weitere, beispielhafte Betrachtungen


Im Folgenden werden weitere exemplarisch Betrachtungen und Schlussfolgerungen anhand der ELK 8a/511 gezeigt. Diese Darstellung stellt die grundlegende Vorgehensweise sowie das, durch eine tiefere Analyse ausschöpfbare, hohe Potenzial an gewinnbaren Informationen dar.

In Grafik 5 ist eine kleinere Auswahl von Nukliden der ELK 8a/511 dargestellt, hier mit Normierung auf Am-241 als Referenznuclid. Hieraus lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Sr-90 und Y-90 sind erwartungsgemäß und entsprechend der Implementierung in der ASSEKAT 1:1 korreliert. In der ausführlichen Analyse ist also auch immer zu beachten, welche ursprünglichen Einlagerungsdaten hinterlegt sind und welche Annahmen zu Zerfallsketten, Nuklidvektoren etc. in der ASSEKAT implementiert sind.

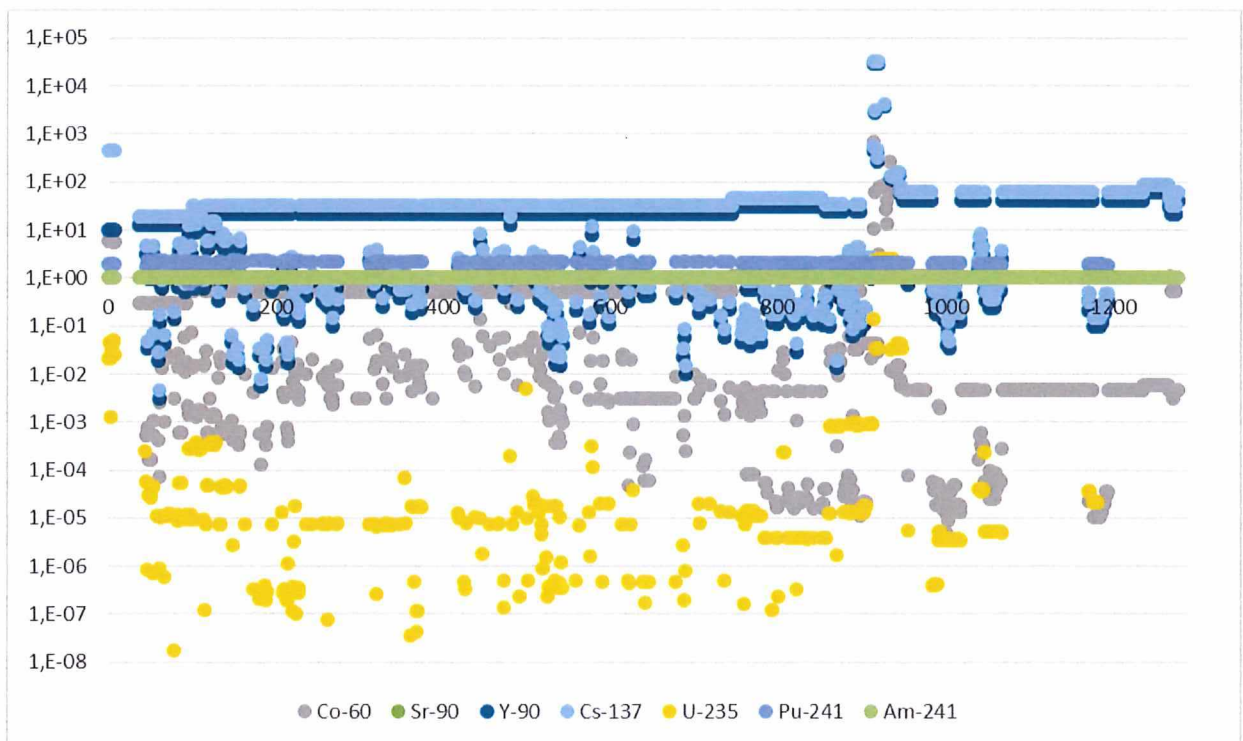


Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachtanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -
 Blatt: 214

- Am-241 korreliert sehr gut mit Cs-137 und Sr-90, sowie ferner auch mit Pu-241 (sofern Aktivitäten berechnet wurden). Dies ist plausibel, da dies entweder Zerfalls- oder Brutprodukte sind und dementsprechend auf einen konstanten Nuklidvektor aus einer Reaktorexposition hinweisen. Die Betrachtung dieser Nuklide als gemeinsamer Nuklidvektor (bzw. die Kopplung der teils sehr schwer messbare Nuklide insbesondere an das leicht messbare Cs-137) bietet sich hier an.
- Eine Korrelation mit Co-60 ist teils erkennbar, zum Teil jedoch auch nicht. Da Co-60 ein Aktivierungsprodukt der Reaktorhülle darstellt, entspricht auch dies den Erwartungen. Somit wäre hier keine gute Korrelation in einem Nuklidvektor möglich.
- Dasselbe trifft erwartungsgemäß auch auf U-235 zu, da dieses Nuklid zwar am Reaktionsprozess beteiligt ist, aber Unterschiede in Anreicherung und Abbrandzeit deutliche Abweichungen bewirken können.




Grafik 5: Darstellung der mittleren Aktivitätsangaben pro Gebinde aus der ASSEKAT für alle Chargen-Nummern der ELK 8-511m, für eine kleinere Beispielnuklidauswahl und normiert auf die jeweilige Gebinde-Aktivität von Am-241 (die Punkte für Sr-90 und Y-90 überlappen sich hier vollständig).

Das Diagramm in Grafik 6 stellt exemplarisch die Normierung auf Co-60 dar:

- Als geeignetes Korrelationsnuklid wurde Ni-63 identifiziert (als Aktivierungsprodukt der Reaktorhülle).
- Für die anderen hier betrachteten Nuklide (die allesamt ebenfalls als Aktivierungsprodukte relevant sind) zeigt sich eine teils große Streuung in wenige, diskrete Einzelbereiche. Hier wäre zur weiteren Klärung eine Detailbetrachtung bezüglich des einzelnen Abfallursprungs hilfreich. Dies ist auch ein Beispiel dafür, dass verschiedene Nuklidvektoren innerhalb der ELK für verschiedene Abfallchargen, bzw. -typen zuzuweisen sind, welche ggf. anhand folgender Eigenschaften im Rahmen der Rückholung bzw. Charakterisierung identifiziert werden können:
  - Spezifische Aktivitätssignaturen anderer Nuklide
  - Klar erkennbare Farbmarkierungen, ablieferer-spezifische Behältertypen

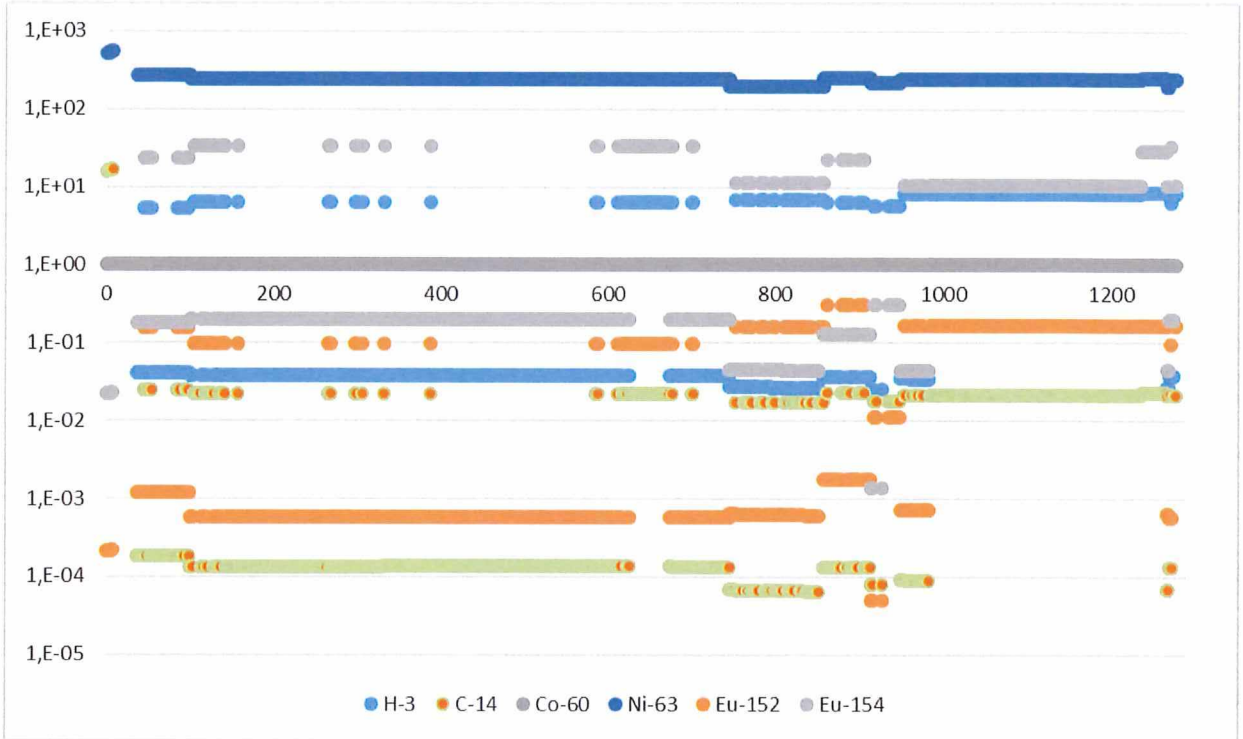
Projekt	PSP-Element	Funktion/Thema	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd Nr.	Rev.	
NAAN	NNNNNNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	23420000				MAK	RB	0002	00	


**BUNDESGESELLSCHAFT  
FÜR ENDLAGERUNG**

Entwicklung eines Konzeptes zur Charakterisierung der aus der Schachanlage Asse II rückzuholenden radioaktiven Abfälle - Endbericht -

**Blatt: 215**

○ Ablieferer-spezifische stoffliche Abfalleigenschaften



Grafik 6: Darstellung der mittleren Aktivitätsangaben pro Gebinde aus der ASSEKAT für alle Chargen-Nummern der ELK 8-511m, für eine kleinere Beispielnuklidauswahl und normiert auf die jeweilige Gebinde-Aktivität von Co-60.